

**Implementación de un Controlador “Bx444-mc” y dos Sondas atex “Sg895” para
Detección de Gases Explosivos y Tóxicos en un Ambiente Industrial**

Autor:

Ivan Dario Lara Ramírez

Asesor:

Elías Lanche Hernández

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios ECACEN

Especialización en Gestión de Proyectos

2025

Agradecimientos

Le quiero dedicar este trabajo primeramente a Dios, también a mis padres que son mi motor y a mi empresa, la cual me ha permitido formarme como el ingeniero electrónico que soy hoy en día. Este trabajo representa mi dedicación y emprendimiento en la contribución hacia un ambiente de trabajo más seguro para mí y mis compañeros de mantenimiento, partiendo de los conocimientos que tengo y gracias a la experiencia adquirida durante el pasar de los años en el área de mantenimiento, así mediante la identificación de riesgos a los que estoy expuesto poder brindar una solución eficaz a la problemática presentada en pro de la seguridad industrial.

Resumen

El proyecto a implementar radica en la detección oportuna de gases tanto explosivos como tóxicos durante el proceso de laminación en la empresa: Diaco, con sede en Tuta Boyacá, se analiza una oportunidad de mejora en el área del horno, este es usado para el calentamiento de palanquillas de acero con medidas de: 2.40 metros de largo por 240 milímetros de ancho, las cuales serán calentadas hasta una temperatura de 1.200°C para su respectivo proceso de laminación, el cual consiste en reducir su sección transversal haciéndolas pasar por una serie de rodillos laminadores y convertirlas en los diferentes perfiles largos que produce la empresa, como lo son: Ángulos, platinas, varillas corrugadas y lisas. El horno de marca (Didier) tiene una capacidad de 30 toneladas/ Hora, su principio de funcionamiento es a base de gas natural (CH₄) y oxígeno del medio ambiente (21%), generando así una combustión completa en su interior, nuestro horno cuenta con 11 quemadores y su respectiva estación de gas natural, la cual se conforma por una serie de válvulas reguladoras, servo motores e instrumentación para medición, tanto de presión como en flujo de gas natural. Se proyectó la implementación de un controlador “BX444 – Mc” para detección de gases explosivos y tóxicos, junto a dos sondas de “Atex - SG895” con sensores de tecnología catalítica, con la finalidad de crear un completo y seguro sistema de vigilancia las 24 horas del día los 7 días de la semana, detectando así en tiempo real la presencia de gases tóxicos y/o explosivos presentes en la estación de gas natural, reduciendo la posibilidad de intoxicación hacia los trabajadores o una posible explosión por acumulación de gases peligrosos.

Palabras clave: Combustión, Dióxido de carbono, Gas, Oxígeno, Toxicología

Abstract

The project to be implemented is based on the timely detection of both explosive and toxic gases during the rolling process in the company: Diaco based in Tuta Boyacá, an opportunity for improvement in the furnace area is being analyzed, this is used for heating steel billets with measurements of: 2.40 meters long by 240 millimeters wide, which will be heated up to a temperature of 1,200 ° C for their respective rolling process, which consists of reducing their cross section by passing them through a series of rolling rollers and converting them into the different long profiles that the company produces, such as: Angles, plates, corrugated and smooth rods. The brand oven (Didier) has a capacity of 30 tons / hour, its operating principle is based on natural gas (CH₄) and oxygen from the environment (21%), generating a complete combustion inside, our oven has 11 burners and its respective natural gas station, which is made up of a series of regulating valves, servo motors and instrumentation for measurement, both pressure and flow of natural gas. It is planned to implement a controller brand: BX444 - Mc for detection of explosive and toxic gases, along with two probes brand: Atex - SG895 with catalytic detection sensors and by electrochemical cell, in order to create a complete and safe surveillance system 24 hours a day 7 days a week, thus detecting in real time the presence of toxic and / or explosive gases present in the natural gas station, reducing the possibility of poisoning to workers or a possible explosion due to gas accumulation.

Keywords: Combustión, Carbón dioxide, Gas, Oxygen, Toxicology.

Tabla de Contenido

Agradecimientos	2
Resumen	3
Abstract.....	4
Introducción	9
Planteamiento y Formulación del Problema	10
Formulación del Problema	12
Justificación	13
Objetivos.....	15
Marco Referencial.....	16
Combustión.....	18
Exposición a Gas Metano (CH ₄), Monóxido de Carbono (CO) y la Salud Humana	20
Morbilidad Respiratoria	22
Sensores Catalíticos	23
Estación Reguladora de Gas Natural	24
Sistema de Quemadores y Tuberías de Aire Combustión en Horno de Recalentamiento	25
Sistema de Detección y Control	27
Metodología	36
Diseño de la Investigación.....	36
Enfoque de la Investigación	36
Guion de Entrevista.....	37
Pasos Para la Implementación del Proyecto	38
Paso 2 - Identificar los Riesgos	39
Fugas de gas	39
Problemas de salud.....	40
Explosión	40
Implementación del Controlador	43
Conclusiones	55
Referencias Bibliográficas.....	57

Listado de Figuras

Figura 1	18
Parámetros de la combustión en el triángulo de fuego.....	18
Figura 2	23
Sensor de gas catalítico para detección de gas natural	23
Figura 3	24
Estación reguladora de gas natural.....	24
Figura 4	25
Distribución de tuberías de gas natural (color naranja) en quemadores de horno	25
Figura 5	26
Sonda para detección de gas: Atex SG 895.....	26
Figura 6	27
Ubicación de la sonda Atex SG 895 dependiendo el gas a medir	27
Figura 7	28
Microprocesador de Gas BX 444 – MC.....	28
Figura 8	31
Indicaciones según funcionalidad de componentes	31
Figura 9	34
Alarmas dependiendo el nivel inferior de explosividad (LEL) y estado de la sonda	34
Figura 10	40
Resultado de anomalía encontrada durante observación del entorno	40
Figura 11	44
Instalación de tubería y tendido de cableado	44
Figura 12	45
Instalación de carcasa (microprocesador) en la pared	45
Figura 13	46
Sirena de advertencia indicando presencia de atmósfera peligrosa.....	46

Figura 14	47
Baliza luminosa para indicación de gas peligroso	47
Figura 15	47
<i>Tarjeta electrónica de sonda</i>	47
Figura 16	48
Prueba de funcionamiento en laboratorio electrónico.....	48
Figura 17	49
Montaje de sondas SG895 en estación de gas natural	49
Figura 18	49
<i>Montaje de Centralita BX444-Mc</i>	49
Figura 19	50
Centralita indicando detección de atmosfera peligrosa	50
Figura 20	50
<i>Indicaciones de componentes</i>	50
Figura 21	51
Principales tóxicos detectados en el organismo por muertes derivadas a intoxicaciones.....	51

Listado de Tablas

Tabla1	19
Medios de extinción en caso de incendio por gas natural	19
Tabla2	20
Peligros derivados de la sustancia	20
Tabla3	21
Los efectos secundarios en el cuerpo humano por exposición a gas natural (CH ₄).....	21
Tabla4	28
Los Controles en la Exposición a gas Natural	28

Tabla5	31
Especificación de funcionalidad según componente en la centralita BX444 – MC	31
<i>Recursos Necesarios</i>	41
Tabla6	42
<i>Cronograma de Actividades</i>	42
Tabla7	53
<i>Resultados Esperados</i>	53

Introducción

La industrialización moderna va de la mano con las nuevas alternativas tecnológicas, de fácil adaptabilidad a los procesos y amigables con el medio ambiente, el avance de las nuevas tecnologías permiten afianzar una política integrada en cuanto a la promoción de ahorro energético y seguridad como primer valor en muchas de las compañías dedicadas al sector industrial en nuestro país. La empresa siderúrgica Diaco es pionera en cuanto a la producción de aceros largos, en el área de laminación cuenta con su horno de recalentamiento para palanquilla marca "Didier", a su vez este horno lo compone su respectiva estación reguladora de gas natural (CH₄), y está compuesta por una serie de válvulas encargadas de regular la presión de entrada que viene alrededor de 4 bares (4000 milibares) hasta una presión de trabajo regulada en 100 milibares, durante este proceso de regulación se han presentado una serie de fugas las cuales en algunas ocasiones son percibidas por los trabajadores del área, en donde algunos de ellos han manifestado síntomas que van desde mareos, dolores de cabeza, náuseas, hasta sensación de adormecimiento en extremidades del cuerpo, es por esta razón que se ha considerado estas fugas de gas natural como un factor de seguridad importante en el ambiente de trabajo, y requiere una atención especial pues la exposición prolongada a este tipo de gas sin los debidos elementos de protección personal pueden generar una condición de trabajo peligrosa, dando como resultado la aparición de secuelas que van desde lo físico (Daño cognitivo) hasta lo psicológico. El presente proyecto tiene como finalidad la implementación de un sistema completo de supervisión y control apoyado de un microprocesador "BX444-Mc" de fácil aplicación, compacto y de gran funcionalidad en ambientes extremos, conectado mediante cableado de instrumentación a dos sondas "SG895" las cuales cuentan con sensores de tecnología catalítica, usados para la detección en tiempo real de gas tóxico, explosivo y oxígeno que pueden estar presentes en el la estación reguladora de gas natural.

Planteamiento y Formulación del Problema

Antecedentes del Problema

La empresa Vanti, encargada de brindar el servicio de gas natural, hace énfasis en la importancia de la seguridad, en especial con lo relacionado a fugas de gas y monóxido de carbono presentes en el ambiente, este último originado por una combustión incompleta. “Toda cultura de seguridad debe formar parte de la cultura de la empresa”. Si bien es cierto el cambio que ha tenido el sector industrial en cuanto a seguridad y automatización se debe seguir promoviendo la cultura del auto cuidado, en donde no solamente se deben tener en cuenta las industrias debido al uso considerable de este combustible fósil como lo es el gas natural (CH₄).

El científico chino Wei- jei (2020) realizo una investigación acerca de la contaminación del aire, la cual se ha convertido en una problemática tanto para los jóvenes como para ancianos, con la finalidad de mitigar este daño se ha exigido la automatización industrial, mediante la elaboración e implementación de vehículos eléctricos, disminuyendo la utilización de combustibles contaminantes, junto con la mitigación de aquellos efectos directos de la contaminación atmosférica, pues los análisis realizados en la calidad del aire que respiramos es algo preocupante.

Mohiudin Ahmed (2019) construyo un sistema para el monitoreo de la calidad del aire en tiempo real, lo realizó en un microcontrolador con tres tipos de sensores: “MQ” el cual detecta aire ambiente de la mano con un dispositivo de conectividad Ethernet. La consecuencia que traen las fugas por monóxido de carbono (CO) o gas natural (CH₄) puede generar intoxicación en las personas, y a su vez la principal causa de incendios en viviendas por explosión.

Descripción del Problema

La empresa Diaco, se caracteriza por ser líder en cuanto a seguridad, medio ambiente y calidad en la producción de aceros largos. En esta ocasión nos centraremos en el área de

laminación, y el corazón de la misma que es el horno de recalentamiento marca Didier, con una capacidad de 30 toneladas/hora, este horno es usado para calentar palanquillas metálicas con medidas que van desde los 2.40 metros de largo por 244 mm de diámetro, cada una de estas palanquillas metálicas tiene una masa de 480 Kg aproximadamente. La función de este Horno es calentar las palanquillas que vienen de una temperatura ambiente (25°C), hasta la temperatura óptima de laminación (1.250°C), para luego mediante una serie de rodillos ir reduciendo gradualmente su diámetro y darle la forma deseada al producto final, bien sea: Varilla, platina, Angulo, Barra lisa.

Durante el transcurso de unos meses, se han evidenciado una serie de situaciones anómalas tanto al interior de la estación reguladora de gas del horno, como a sus alrededores, en la cual los trabajadores de mantenimiento han manifestado una serie de síntomas físicos que van desde: Mareos, dolores de cabeza (Cefaleas) y en algunos casos nauseas, los trabajadores inicialmente desconocían las razones de estos síntomas, descubriendo tiempo después mediante una serie de pruebas que incluían un análisis de gases al entorno, en donde se detectaron valores de exposición a altas concentraciones de gas natural (Mayor a 50 ppm), resultando perjudiciales para la salud de los trabajadores y el medio ambiente. Analizando este sistema portátil para detección fugas de gas se encontraron una serie de oportunidades de mejora para el área de mantenimiento laminación, después de haber hecho las correcciones necesarias en cuanto a ajuste mecánico de las partes que presentaban fugas y cambio de piezas, se evidencio una reducción considerable en fugas de gas natural. Con la finalidad de mitigar y controlar el riesgo asociado a factores como lo son: Deficiencia de Oxígeno, posible explosión por acumulación de atmosferas peligrosas en el ambiente, como también la probabilidad de una intoxicación por inhalación de gases peligrosos hacia los trabajadores, tanto en el interior de la estación reguladora de gas natural como en las cercanías de la misma, se opta por la implementación de un controlador para detección de gases explosivos y tóxicos, cuyo principal componente es el microprocesador (BX 444-Mc) y dos sondas Atex (SG 895)

con sensores de tecnología catalítica, los cuales son unos transductores que convierten la señal química detectada en una señal eléctrica, la cual llega hasta el microprocesador, con la finalidad de crear un completo y seguro sistema de vigilancia las 24 horas del día los 7 días de la semana, detectando la presencia de gases tóxicos y/o explosivos presentes en el ambiente de trabajo las 24 horas del día los 7 días de la semana.

Formulación del Problema

¿Cuál será el impacto obtenido frente a la implementación de un sistema para el monitoreo y alertas tempranas en la estación reguladora de gas natural, conociendo los niveles inferiores de explosividad (LIE) de los gases detectados, así como también el umbral de partículas por millón (ppm) necesarias para generar asfixia y pérdida del conocimiento por desplazamiento de oxígeno?

Hipótesis

Es posible la reducción de accidentes por inhalación de gases explosivos, mediante la detección temprana de atmosferas peligrosas con la implementación de un dispositivo inteligente, de fácil adaptabilidad en empleo civil, y aplicaciones tanto comerciales como industriales.

Justificación

Las fugas de gas a nivel industrial son un inconveniente que se está presentando con mayor frecuencia, bien sea debido a factores externos como lo son: desgaste prematuro de los equipos para la regulación de presión, baja calidad de los mismos o en algunas ocasiones debido a la baja percepción del peligro haciendo que la persona no perciba el olor, las compañías en la mayoría de los casos toman acciones al respecto cuando la situación ha alcanzado niveles que van desde fuegos incipientes hasta explosiones por gasificación del ambiente, trayendo consigo la liberación de grandes cantidades de energía, junto con efectos no deseados como lo son: daños a la propiedad, medio ambiente y a la humanidad de los trabajadores, dejando secuelas tanto para ellos como a sus familias.

Este proyecto busca implementar una solución a bajo costo, con un sistema de monitoreo 24 horas, los 7 días de la semana para la detección de atmosferas peligrosas, identificando el límite inferior de explosividad (LIE) de acuerdo al tipo de gas detectado, conociendo que para la mayoría de estos gases inflamables su límite inferior de explosividad está alrededor del 5%, después de haber detectado el gas se genera una alarma tanto visual como sonora en tiempo real, alertando al personal más cercano y reducir considerablemente la posibilidad de que se presente un accidente por acumulación de atmosferas peligrosas, bien sea al interior de la estación reguladora de gas natural como a sus alrededores, por estas razones consideré importante implementar este tipo de proyecto en mi entorno de trabajo.

Prevención de Accidentes por Exposición a Atmósferas Peligrosas

El gas natural por su naturaleza no tiene olor alguno, químicamente se le realiza un proceso añadiéndole una sustancia química llamada: Mercaptano, el cual permite que este gas adquiera su olor característico desagradable y haciendo más sencilla la percepción de fugas tanto para el ser humano como para los dispositivos electrónicos de detección. Esto se logra mediante la implementación de sensores con tecnología catalítica que detecten las partículas por millón de gas natural presentes en el ambiente, de esta manera estaremos previniendo una

exposición por tiempos prolongados hacia los trabajadores, en el peor de los casos pueden llevar a la muerte o con secuelas para la salud, como lo es el daño neuronal.

Sentido de Pertenencia con el Medio Ambiente

La creación de ciudadanía ambiental es aquella llave maestra que permite generar un incentivo en pro de la responsabilidad ambiental, no cabe duda que el tema ambiental abrió en los últimos años espacios políticos a grupos de ciudadanos, enriqueciendo aquellos objetivos y estrategias, pasando de la denuncia a la propuesta y del fanatismo generalizado al control ciudadano, el cual es más consciente de sus responsabilidades y derechos tradicionales, teniendo en cuenta la responsabilidad sobre el control en las emisiones emitidas hacia el medio ambiente procedentes de empresas del sector industrial, existen unas normativas tanto nacionales como internacionales, estas creadas con la finalidad de controlar y limitar el volumen de dichas partículas contaminantes hacia el medio ambiente, convirtiendo este proceso en un tema de importancia en la gestión ambiental de cualquier empresa en pro de la seguridad de las personas.

Condiciones de Salud

Para realizar trabajos en donde se requiere la manipulación de sistemas a trabajar con gas natural es necesario tener ciertas condiciones de salud específicas o descartar aquellas situaciones que puedan poner en riesgo la salud y seguridad de trabajador que ejecuta la tarea, incluyendo las condiciones aptas dentro del proceso de evaluaciones medicas ocupacionales y el perfil de cargo a desempeñar, el proceso es llevado a cabo por un médico ocupacional cumpliendo la resolución 2346 de 2007 (Ley que regula las evaluaciones médicas ocupacionales). Las condiciones de salud (físicas y psicológicas) requeridas, parten de las actividades que se realizarán y los peligros a los que el trabajador va a estar expuesto.

Objetivos

Objetivo General

Implementar de un controlador (BX444-Mc) y dos sondas ATEX (SG 895) con sensores de tecnología catalítica para la detección de gases explosivos y tóxicos en la estación reguladora de gas natural del horno Didier, para la empresa Diaco.

Objetivos Específicos

Seleccionar aquellos componentes electrónicos que más se adapten a las necesidades del proceso.

Considerar a los sistemas para la detección temprana de atmosferas peligrosas como una herramienta esencial en cuanto a seguridad industrial.

Comprender los niveles inferiores de explosividad (LIE) de los gases detectados, así como también el umbral de partículas por millón (ppm) necesarias para generar asfixia y perdida del conocimiento por desplazamiento de oxígeno.

Identificar el nivel de riesgo detectado según las alarmas sonoras y visual, color en el display del controlador, dependiendo nivel de partículas por millón (ppm) detectadas en el ambiente.

Controlar la presencia de gases explosivos y tóxicos a través de sensores de tecnología catalítica, brindando condiciones de seguridad óptimas para los trabajadores.

Capacitar a todo el personal de mantenimiento sobre las precauciones a tener cuando se realicen trabajos en este tipo de ambiente con atmosferas explosivas, conociendo los efectos secundarios en el organismo por exposición a este tipo de gases.

Marco Referencial

Marco Teórico

A continuación se presentan algunos trabajos relacionados a la problemática expuesta y la importancia estratégica que tiene la puesta en marcha para dar una solución eficaz a esta, y que va desde lo ambiental hasta la integridad de las personas.

Según Cristóbal Velásquez, L. A. (2019) (Pag 6) en su investigación nos habla sobre la importancia de estar un paso adelante en cuanto la detección temprana de aquellos gases peligrosos presentes en el ambiente industrial, así mismo la importancia de conocer aquellas normas internacionales con la finalidad de disminuir los riesgos asociados con incendios, la norma internacional “*National Fire Protection Association*” (NFPA) es la principal impulsora a nivel mundial en la prevención de incendios así como también una fuente autorizada en la seguridad pública, difundiendo más de 300 códigos y normativas para minimizar el riesgo de accidentes.

Con la finalidad de obtener la máxima eficiencia económica y energética en el horno de laminación en la empresa siderúrgica del Perú, Sánchez Chaucha, P. A. (2019) sugiere la aplicación de la programación lineal “basada en el modelamiento matemático dedicada a maximizar o minimizar una función lineal” (Pag 12) mediante la implementación del software XLstat, encargado de maximizar la eficiencia de gas y el mejoramiento de la combustión , enriqueciendo esta con mayor cantidad de oxígeno, generando una combustión completa y a su vez generando menor cantidad de monóxido de carbono hacia el ambiente.

Carmen Condori. (2015) Propone en su investigación de tesis lo siguiente: “propuesta de diseño para un sistema de control de fugas de gas a fin de reducir riesgos laborales en una estación de servicios de GLP” (Pag 8) el diseño de un sistema de control y monitoreo en cuanto a fugas de gas, con la finalidad de aportar un alto nivel de seguridad y bienestar a los trabajadores, usuarios de los Gasocentros y estaciones de servicio, el sistema está en la

capacidad de detectar concentraciones de Gas licuado de petróleo (GLP) presentes en el ambiente de trabajo y generar un corte de energía total, así como el corte en el suministro de gas y activación de alarmas (sonora y visual) como medio de precaución.

Luque Berraquero, R. (2021) Propone la digitalización del proceso de localización de fugas de gas en estaciones depuradoras mediante drones, en donde presenta un framework de simulación de dispersión de gas (Pag 7). La dispersión de gas se lleva a cabo utilizando un modelo basado en filamentos y los patrones de flujo de viento se generan externamente utilizando herramientas de dinámica de fluidos como OpenFoam. Para realizar el proceso de localización de fuentes de olor, consiste en encontrar la posición de una fuente química de interés en el ambiente a través de una pista, es decir, un penacho creado por la fuente, influenciado por el viento (Pag 8). Para la mayoría de los organismos vivos, la localización de una fuente de olor es una capacidad innata, por ejemplo, ayuda a los animales a encontrar a sus parejas, a localizar su comida o sus presas, a evitar sus sustancias químicas desfavorables, siendo de diferente nivel entre las distintas especies (los perros tienen un olfato 108 veces más sensible que el del ser humano a algunos compuestos).

Gualdrón palacios (2021). En su proyecto propone el diseño de un sistema de monitoreo, detección y alarma, humo, fuego o gas, mediante un software de programación para las interfaz gráfica (HMI), implementado en el gasoducto Cusiana-Ballenas (Barrancabermeja), siguiendo los lineamientos de la NFPA-72, (Pag 28). La norma NFPA 72 habla sobre las disposiciones más avanzadas en cuanto a la aplicación, ubicación, instalación y funcionamiento de los sistemas para detección de incendios, cuya finalidad es contar con un modo seguro.

Guevara García (2024) En su investigación se orienta a evaluar el efecto en cuanto a la implementación de hornos de inducción trabajando en método de cascada (Pag 3). En donde realiza un balance de energía para un horno de recalentamiento tradicional en condiciones normales, identificando indicadores de desempeño energético y se determinó aquellos beneficios tangibles en la implementación de hornos de inducción. Con la finalidad de

implementar su capacidad nominal del horno de 42 a 57 toneladas / hora, mediante la instalación de 3 hornos inductores de 2MW (Megavatios) cada uno, ubicados a una distancia de 2 metros antes de la primera caja laminadora permiten que el flujo de calor útil en el interior del horno tenga un margen de 216,83 KW y las palanquillas lleguen al tren laminador con una temperatura de 1100°C, la cual es una temperatura aceptable para el proceso de laminación.

Zavaloa chacon y Isaac German (2020) Diseñaron e implementaron un sistema para la detección y monitoreo de gas metano, el cual se cataloga como principal subproducto de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica del agua residual (Pag 31). Con la finalidad de prevenir el riesgo de incendio por efecto de una gran cantidad de gas metano, cuya temperatura de auto ignición esta alrededor de los 537°C.

Marco Conceptual

Combustión

Según Ricardo García (2021) (pág. 11) La combustión es aquel conjunto de reacciones de oxidación que generan un desprendimiento de energía exotérmica, producto de estos elementos: Material combustible (Madera, carbón, etc.) un líquido inflamable o combustible (Gasolina, aceite, Fuel- Oil, etc.) Gases (Propano, metano, butano) y el comburente (Oxigeno). Para que se produzca una combustión tiene que ir ligada a estos tres parámetros, y si alguno de estos falta, dicha combustión no lograría efectuarse. (Ver figura 1).

Figura 1

Parámetros de la combustión en el triángulo de fuego



Nota. La figura 1 representa los tres elementos que conforman el triángulo de fuego, los cuales son necesario para que se produzca una combustión, si alguno de ellos falta no sería posible la combustión.

Fuente: Elaboración propia, los datos fueron tomados del cuerpo de bomberos voluntarios de Duitama.

Tabla1

Medios de extinción en caso de incendio por gas natural

	ABC – Polvo químico seco (fosfato monoamónico)
Medios de extinción adecuados	Gases inertes: Nitrógeno (N), Dióxido de carbono (CO ₂)
Medios de extinción que no deben ser utilizados por seguridad	Agua pulverizada Chorro de agua directo Espuma

Nota. En la tabla 1 se explican los medios de extinción a usar recomendados en caso de presentar una emergencia por incendio, conociendo que la temperatura de ignición del gas natural es de 550°C y un límite inferior de explosividad de 4,4 Vol.

Fuente: Datos tomados de la ficha técnica de seguridad para el gas natural.

Tabla2*Peligros derivados de la sustancia*

Peligro de incendio	Gas extremadamente inflamable
Peligros específicos	<p>En espacios confinados primero detener la fuga desde la fuente antes de apagar las llamas, de lo contrario pueden formarse una atmosfera explosiva.</p> <p>Por la fuente de ignición los vapores se puede inflamar, generando un retroceso de la llama y explotar (Deflagración)</p>

Nota. La tabla 2 brinda una breve explicación sobre los peligros asociados en la utilización del gas natural, ya sea en espacios confinados en donde se recomienda primero detener la fuga desde la fuente para evitar una acumulación de atmosferas explosivas como también la producción de una deflagración, en donde la llama regresa hasta el punto de origen.

Fuente: Datos tomados de la ficha de seguridad para el gas natural (CH₄)

Exposición a Gas Metano (CH₄), Monóxido de Carbono (CO) y la Salud Humana

La investigación de Tellez Fajardo (2020) (Pag. 17) habla sobre aquellos estudios realizados en animales y seres humanos en cuanto a la exposición prolongada a este tipo de gases peligrosos, conociendo su nivel de intoxicación y exponiéndolos de forma crónica a niveles: Bajos, medio y altas concentraciones de monóxido de carbono en el aire respirable, identificando la aparición de efectos adversos en aquellos órganos con alto requerimiento de oxígeno, como lo son: Cerebro y corazón. También se han documentado efectos cardiovasculares y neuropsicológicos en presencia de concentraciones de monóxido superiores a 50 ppm, así como también niveles de carboxihemoglobina (Derivado de la hemoglobina) en sangre inferiores al 10%.

Tabla3

Los efectos secundarios en el cuerpo humano por exposición a gas natural (CH₄)

Partículas por millón (ppm)	% de Monóxido de carbono (CO) en el ambiente	Sintomatología en adultos sanos
10 ppm	0.0010%	Sin efectos
25 ppm	0.0025%	Sin efectos
35 ppm	0.0035%	Sin efectos
50 ppm	0.0050%	Dificultad respiratoria con un periodo de exposición de 4 horas
100 ppm	0.1%	Dolor de cabeza, dificultad respiratoria y fatiga
200 ppm	0.02%	Dolor de cabeza , náuseas, fatiga después de 2 a 4 horas de exposición
400 ppm	0.04%	Dolor de cabeza , acompañado de nauseas después de 1 a 2 horas de exposición
1000 ppm	0.10%	Perdida del conocimiento después de 1 hora de exposición
3500 ppm	0.35%	Nauseas, dolor de cabeza, perdida del conocimiento después de 30 min de exposición
13.000 ppm	1.30%	Efectos fisiológicos inmediatos, seguido de la pérdida del conocimiento después de 1 a 3 min de exposición

Nota. La tabla 3 detalla los efectos secundarios en el cuerpo humano según el nivel de exposición a gas natural (CH₄) dado en partículas por millón (ppm), así como también el % de monóxido de carbono (CO) presente en el ambiente, cuanto mayor sea el tiempo de exposición y la concentración de gas, mayor serán los efectos en el organismo, pueden ir desde dolores de cabeza hasta perdida del conocimiento y en el peor de los casos la muerte.

Fuente: Los datos fueron tomados de la Agencia nacional de minería (ANM) en un estudio realizado sobre los efectos secundarios por exposición a gas.

Morbilidad Respiratoria

Estas morbilidades respiratorias vienen de aquellas enfermedades que afectan el sistema pulmonar y demás partes que componen nuestro aparato respiratorio, producidas por factores como: Inhalación de humo, infecciones, y exposiciones prolongadas a gas metano (CH₄) y monóxido de carbono (CO). Estas enfermedades respiratorias incluyen el asma, cáncer de pulmón, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), neumonía, fibrosis pulmonar.

Datos tomados de: (Ministerio de salud y Protección social- República de Colombia).

Sensores Catalíticos

Están conformados por un minúsculo elemento sensor (Perla o Pellistor), consta de una bobina de platino, la cual se encuentra calentada eléctricamente, cubierta por una base de cerámica. Este tipo de sensores catalíticos funciona mediante el principio del paso de una mezcla de gas o aire sobre la superficie del catalizador caliente, a su vez alterando la resistencia en la bobina de platino, el cambio en la resistencia está relacionado con la concentración de gas presente en la atmosfera.

Figura 2

Sensor de gas catalítico para detección de gas natural



Nota. La figura 2 ilustra físicamente un sensor catalítico usado en la detección de atmosferas peligrosas, detallando algunos datos importantes como lo son: El nombre de la empresa fabricante (Beinat Srl), y el país de origen (Italia).

Fuente: Elaboración propia, imagen tomada durante la instalación de sensor catalítico en la estación reguladora de gas natural, planta Diaco.

Estación Reguladora de Gas Natural

Para una estación reguladora y que aplique medición de gas industrial, según Vanti (empresa distribuidora de gas natural), nos dice que la estación debe contar básicamente de: Valvula de corte en la entrada, filtro de gas, reguladores de presión y medidor de flujo, presostatos, manómetros. En caso de requerir servicio de mantenimiento, este deberá ser realizado por personal capacitado, habilitado y autorizado para trabajos con sistemas de gas natural.

Figura 3

Estación reguladora de gas natural



Nota. La figura 3 detalla a la estación reguladora de gas natural, en donde se pueden apreciar algunos de sus componentes como lo son: válvulas reguladoras de presión, filtro de gas, reguladores de presión, manómetros, así como también la diferente instrumentación para el control en la regulación de gas natural (medidores de flujo y presión).

Fuente: Elaboración propia, (fotografía tomada al interior de la estación en las instalaciones de la empresa Diaco)

Sistema de Quemadores y Tuberías de Aire Combustión en Horno de Recalentamiento

La distribución de tuberías de gas natural en la estación reguladora viene con diámetros de 3" y ¾" que van hacia los quemadores del horno Didier, lo cual garantiza una distribución homogénea tanto de la presión (100 milibares) como en el flujo de gas natural hacia el interior del horno, compuesto por 11 quemadores, permitiendo una relación equilibrada de oxígeno del medio ambiente (21%) y el gas natural compuesto principalmente por metano (CH₄), con un poder calorífico de 10.440 Kcal/m³, generando así una combustión completa en su interior, permitiendo una transmisión interna de temperatura mediante sus 3 formas (conducción, convección, radiación), permitiendo un delta de temperatura homogéneo hacia el centro de la palanquilla, pasando de una temperatura ambiente (25°C) hasta una temperatura óptima para el proceso de laminación (1.250 °C).

Figura 4

Distribución de tuberías de gas natural (color naranja) en quemadores de horno



Nota. En la figura 4 se puede apreciar un sistema compuesto de 4 quemadores en la parte frontal, con su respectiva instrumentación y las diferentes tuberías para el flujo de gas y aire, permitiendo la generación de una combustión completa en su interior.

Fuente: Elaboración propia, imagen tomada de la empresa Diaco - Horno de recalentamiento para palanquillas metálicas.

Sonda SG 895 para Detección de Gases

Cuenta con grado de protección antideflagrante con capacidad de reducir el peligro de explosiones en ambientes cerrados, junto con un nivel de protección IP 66 (A prueba de humedad y polvo), esta sonda cuenta con la capacidad de detectar gases tanto tóxicos como explosivos por medio de sensores con tecnología catalítica, de fácil manejo y confiables en ambientes industriales extremos. Esta sonda trabaja en conjunto con un microprocesador (BX444-MC), en el cual se pueden conectar hasta un máximo de 4 sondas SG895, permitiéndole entre otras funciones la de realizar un auto diagnóstico, seguido de una calibración automática, con la finalidad de tener una precisión de detección confiable 24 horas del día los 7 días de la semana, evitando falsas alarmas debido a eventos de anomalías.

Figura 5

Sonda para detección de gas: Atex SG 895

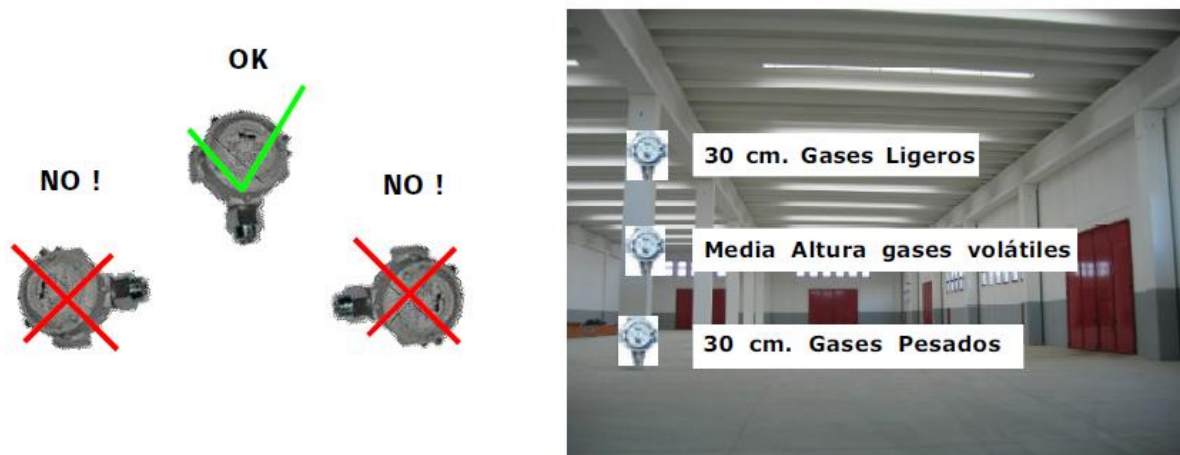


Nota. La figura 5 representa el cuerpo de la sonda Atex SG 895, junto con su respectivo sensor de tecnología catalítica capaz de detectar la presencia de gases peligrosos en un ambiente industrial demandante

Fuente: Imagen tomada de la ficha técnica del producto.

Figura 6

Ubicación de la sonda Atex SG 895 dependiendo el gas a medir



Nota. En la figura 6 se observa el correcto posicionamiento de la sonda, así como la altura recomendada por el fabricante dependiendo el tipo de gas que se quiere monitorear, ya sean: Gases ligeros, gases volátiles o gases pesados.

Fuente: Imagen tomada de la ficha técnica y de instalación del producto

Sistema de Detección y Control

Este sistema está diseñado para la detección en tiempo real de gases tóxicos y explosivos, con capacidad de poder conectar 4 sondas Atex SG 895, el microprocesador BX444-Mc ha sido diseñado y construido según la normativa europea (EN 50194-1:2009), la cual especifica los métodos de detección en aquellos instrumentos eléctricos usados en la detección de gases peligrosos. Este sistema permite detectar de forma flexible la presencia de gases tóxicos y explosivos mediante la conexión de 2 sondas remotas, gracias a esta y otras características BX444-Mc es apto para uso civil, uso industrial y pequeños aparcamientos subterráneos.

Identificación Según sus niveles de Alarma

Primer nivel de alarma: Esto se fijó en el 8 % del LEL (120 ppm)

Segundo nivel de alarma: Esto se fijó en el 13 % del LEL (200 ppm)

Tercer nivel de alarma - Principal: Esto se fijó en el 20 % del LEL (300 ppm)

Figura 7

Microprocesador de Gas BX 444 – MC



Nota. La figura 7 corresponde al microprocesador BX 444 – MC para la detección temprana de gases tanto tóxicos como explosivos, se identifican algunas funciones que trae esta cajita, como lo son: Niveles de alarmas (Desde la 1 hasta la 3), estado de la batería y los sensores catalíticos, función de testeo y reset. Este microprocesador cuenta con múltiples campos de aplicación, como lo son: comerciales, industriales y aparcamientos.

Fuente: Imagen tomada de la ficha técnica del producto

Tabla4

Los Controles en la Exposición a gas Natural

	<p>El gas natural se transporta y distribuye por canalizaciones estancas y se dispone para su utilización por equipos adecuados a tal fin.</p>
<p>Medios Técnicos:</p>	<p>En caso de una posible liberación de gas, monitorizar la concentración de gas en la zona de trabajo (zona de peligro)</p> <p>Para controlar la concentración de gas natural, se aconseja el empleo de exposímetros</p>

adecuados para la medida de CH₄ y conformes a las normativas en vigor

Evitar los peligros de la formación de atmósferas explosivas

Las medidas de protección técnicas, organizativas y colectivas tienen prioridad sobre el uso de equipos personales de protección. Si a pesar de las medidas técnicas y organizativas subsiste el peligro, utilizar los Equipos de Protección Individual adecuados.

Equipos de Protección Individual:

El nivel de protección y los tipos de controles necesarios variaran dependiendo de las potenciales condiciones de exposición.

Seleccionar controles basados en una valoración de riesgos de las circunstancias locales. Las medidas a tomar apropiadas incluyen las relacionadas con: Ventilación adecuada, controlando las concentraciones suspendidas en el aire por debajo de las directrices/ límites de exposición evitando las explosiones.

Protección Personal:

Los respiradores deben usarse de conformidad con un programa de protección respiratoria para asegurar su adecuación, formación y otros aspectos del buen uso. Se

Protección respiratoria:

debe seleccionar el respirador en base a los niveles de exposición reales o previstos, a la peligrosidad del producto y al grado de seguridad de funcionamiento del respirador elegido.

Para la selección de guantes específicos hay que tener en cuenta las aplicaciones determinadas y el tiempo de uso en el área de trabajo. También deben de tenerse en cuenta otros factores en el espacio de trabajo; por ejemplo, otros productos químicos que se puedan utilizar, requisitos físicos (protección contra cortes/perforaciones, técnicas, protección térmica, resistencia química) y las instrucciones y especificaciones del proveedor de guantes.

Protección de las manos:

Gafas protectoras contra salpicaduras de sustancias químicas.

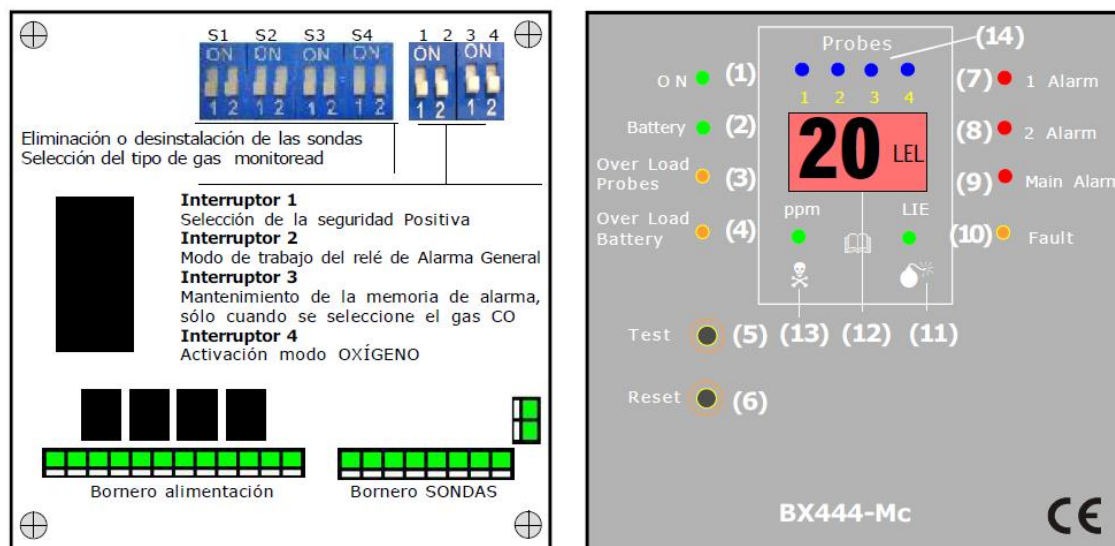
Protección Ocular:

Nota. La tabla 4 representa las medidas de seguridad y prevención, partiendo de los medios técnicos y equipos de protección personal necesarios para realizar trabajos con equipos de gas natural, acompañada de los primeros auxilios recomendados en caso de llegar a presentar alguna condición de emergencia por exposición a atmosferas peligrosas en concentraciones superiores a las 50 ppm de gas natural.

Fuente: Datos tomados de la ficha de seguridad para gas natural.

Figura 8

Indicaciones según funcionalidad de componentes



Nota. La figura 8 brinda una especificación en cuanto a la selección de los canales a utilizar, bien sea si se desean conectar 2 o 4 sondas de medición al microprocesador BX444 – MC, así como también la definición a cada numeral de alarmas, que vienen del #1 hasta el #13.

Fuente: Imagen tomada de la ficha técnica del microprocesador BX444 – MC.

Tabla5

Especificación de funcionalidad según componente en la centralita BX444 – MC

Componente y su numeración	Funcionalidad
ON (#1)	Tensión Led Verde insertado. Se enciende cuando es conectada la tensión de red. Al encenderse este led destella por 2 minutos aprox. tiempo de precalentamiento del sistema
Battery (#2)	Accionado por la batería LED Verde. Se enciende cuando el aparato es alimentado a batería. Cuando el Led inicia el destello la batería está descargada

Over load probes (#3)	Led de sobrecarga probes indica un corto circuito o un consumo elevado de corriente en las sondas
Over load battery (#4)	Led de sobrecarga batería indica que la batería está conectada de forma equivocada o tiene un consumo anómalo.
Test (#5)	Oprimiendo este pulsador de test continuamente, se obtiene la simulación de una perdida de gas. Haciendo esto, se iluminaran en secuencia todos los leds de señalización de pre-alarma y de alarma general, conmutando los relés asociados.
Reset (#6)	Se pulsa el botón para borrar todas las memorias.
1a pre alarma (#7)	Este led se ilumina cuando el nivel de concentración de gas ha llegado a la concentración del 8% del LIE y cierra el contacto del relé de 1er. alarma. El relé se desconecta cuando supera el límite del 13% del LEL.
2a pre alarma (alarma general) (#8)	Este led se ilumina cuando el nivel de concentración de gas ha alcanzado una Concentración del 13% del LIE o 20 ppm y cierra el contacto eléctrico del relé de 1ª concentración, el buzzer interno emite un sonido con intermitencia lenta
Main Alarm (#9)	Este led se ilumina cuando el nivel de la concentración del gas ha alcanzado el 20% del LIE o de 300 ppm. Cierra el contacto del relé de alarma general y el buzzer emite un sonido con intermitencia rápida.

Led Amarillo de avería (#10)	<p>Este led destella, cuando una de las sondas conectadas está agotada, si el cable de conexiones de las sondas está cortado o que se ha efectuado un error de conexionado.</p> <p>Cuando este led destella, el equipo no está en grado de funcionar y se bloquea Para reactivar el funcionamiento, deberá realizarse la reparación de la sonda o su eliminación a través del micro interruptor interno y sucesivamente oprimir el pulsador de Reset</p>
Led EXP. (Gas explosivo) (#11)	<p>La iluminación de este LED VERDE indica que la sonda está dispuesto para detectar gases explosivos (metano, GLP, etc.)</p>
Pantalla (#12)	<p>La pantalla está con las indicaciones</p> <ul style="list-style-type: none">a) El símbolo de la batería se enciende cuando el BX444-Mc es alimentado con una batería externa, la batería indica el estado de carga de la batería y cuando parpadea, significa que la batería se está agotando.b) La numeración indica la concentración de gas detectada. <p>El cambio de los datos de cada sonda conectada se produce cada 4 segundos acerca</p> <ul style="list-style-type: none">c) la inscripción ppm se enciende cuando la sonda conectada detecta el gas Tóxico. <p>La inscripción LEL se enciende cuando la sonda conectada detecta el gas Explosivo</p> <ul style="list-style-type: none">d) El símbolo del tiempo se enciende cuando el BX444-Mc está en fase de Warm up el display inicia el count down

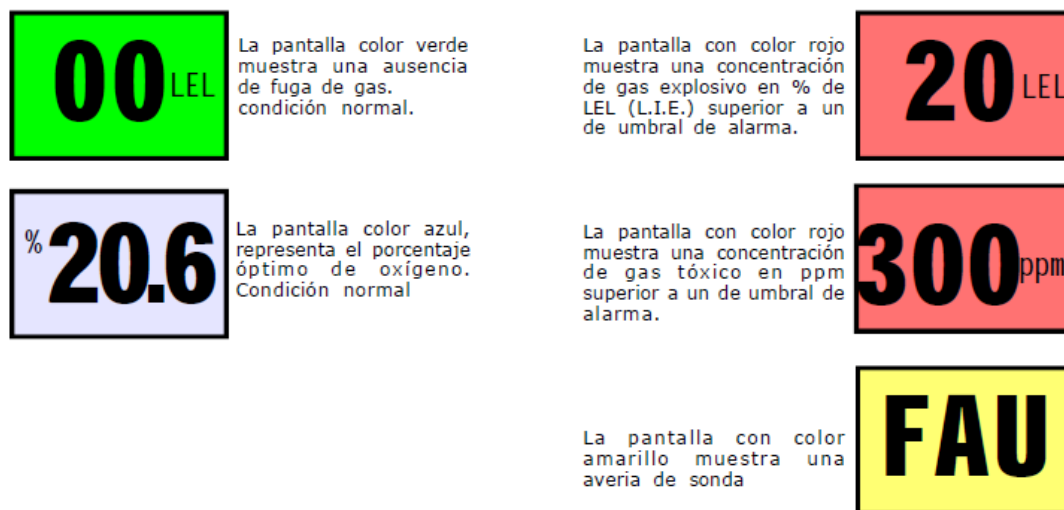
Leds Co (Gas tóxico) (#13)	La iluminación de este LED VERDE indica que la sonda está dispuesto para detectar gases tóxicos (monóxido de carbono). Estos leds se encienden cíclicamente y a cada salto se indica en el display la cantidad de gas detectada
Leds azul de sensores	Representan las sondas conectadas, y se encienden en secuencia.

Nota. La tabla 5 brinda una información detallada sobre la funcionalidad en cada una de las alarmas y protecciones incorporadas de la centralita para detección de gas BX444-Mc, brindando información importante cuando se esté superando el 8% del límite inferior de explosividad del gas detectado, también dando a conocer en tiempo real el estado de cada sonda junto con sus respectivos sensores catalíticos.

Fuente: La información fue tomada de la ficha técnica del micro procesador BX444-Mc, para detección de gases peligrosos.

Figura 9

Alarmas dependiendo el nivel inferior de explosividad (LEL) y estado de la sonda



Nota. La figura 9 da a conocer los tipos de alarmas con las que cuenta el microprocesador, dependiendo el nivel de concentración en partículas por millón (ppm) detectadas en el ambiente, la alarma de color amarillo representa un daño en la sonda de medición por lo que se recomienda revisar el conexionado de la misma o en su defecto reemplazar el sensor catalítico por uno nuevo.

Fuente: Imagen tomada de la ficha técnica de la sonda SG 895.

Margo Legal

El artículo 79 de la constitución política de Colombia da a entender que “Todas las personas tienen derecho de gozar de un ambiente sano”. Si bien esta norma puede interpretarse con el principio fundamental que tenemos todas las personas del derecho a la vida, este proyecto pretende generar un monitoreo 24 horas del día los 7 días de la semana, con el fin de controlar la aparición de fugas de gas natural, garantizando un ambiente de trabajo libre de peligro para la vida de los trabajadores.

El artículo 78 de la constitución política de Colombia trata sobre la vigilancia a producción de bienes y servicios, en donde “La ley regulará el control en cuanto a la calidad de bienes y servicios ofrecidos a la comunidad” como una forma más accesible para llevar a cabo tal control el prototipo garantizara una calidad óptima en la infraestructura utilizada para el servicio de gas industrial, dando cumplimiento con la ley vigente.

Ley 1480 del 12 de octubre de 2011, artículo 5°, numeral 14, nos indica las condiciones del producto conforme, dependiendo de las situaciones normales de utilización, llegado el caso de que el producto no cumpla con los diferentes requisitos de seguridad establecidos en los diferentes reglamentos técnicos o medidas sanitarias, este se presumirá que es inseguro para su utilización.

Ley 1480 del 12 de octubre de 2011, artículo 5°, numeral 14, está indica que la seguridad es condición de un producto en situaciones de utilización, tiempo de uso, la información facilitada en términos de la presente ley en su instalación y mantenimiento que este no presenta riesgos para la salud o integridad de los consumidores. Si no cumple con este el producto se determinará que es inseguro, todo esto con el fin de proteger los derechos de los consumidores.

Metodología

Generalidades

Balestrini (2000) argumenta de que el marco metodológico “Es aquel conjunto de procedimientos a seguir con la finalidad de lograr aquellos objetivos de la información, de una manera valida y con alta precisión” (p.44). En otras palabras, se plasma una estructura organizada mediante la cual se conocerán tanto la recolección, el ordenamiento de la información y el análisis de la misma, permitiendo una interpretación de los resultados en función de la problemática que se está investigando.

Diseño de la Investigación

Dado que el objetivo de estudio consiste en la detección oportuna de gases explosivos y tóxicos en la estación reguladora de gas natural de la empresa Diaco, y su incidencia en la seguridad de los trabajadores que allí laboran, algunos gases a detectar son: Metano (CH_4), Etano (C_2H_6), Propano (C_3H_8), Butano (C_4H_{10}). Se recurrió a un diseño experimental en donde se aplicará un tipo de investigación descriptiva, en la cual se recopilan datos abiertos con la finalidad de describir el fenómeno estudiado, considerando el tipo de gas a medir y los efectos secundarios que esto generaría por una exposición prolongada de gas hacia las personas, dependiendo el nivel de exposición al que han estado expuestas.

Enfoque de la Investigación

El presente trabajo está diseñado bajo el planteamiento metodológico del enfoque cualitativo, mediante la utilización de métodos no estandarizados, generación de entrevistas abiertas hacia los trabajadores, con evaluación de experiencias personales y observaciones del entorno.

Población

La población de estudio estará conformada por los 6 trabajadores de mantenimiento, los cuales tienen contacto a diario con la estación reguladora de gas natural.

Personal Electricista	Edad	Personal mecánico	Edad
Javier Perez	20	Maicol García	35
Lisandro Arévalo	27	Miguel Guevara	30
Andres Pineda	45	Manuel Becerra	32

Técnicas de Recolección de Datos

Herrera (2005) se refiere a la técnica de recolección de datos como “Aquel procedimiento realizado de una manera particular con la finalidad de obtener información importante, ya que la aplicación de una técnica permite la obtención de datos, los cuales deben ser resguardados mediante un instrumento de recolección de datos” (p.12).

Las técnicas de recolección de datos que se utilizaron fueron: Entrevistas a los 6 trabajadores de mantenimiento, tanto mecánico como eléctrico que están en exposición constante con el gas natural, como segunda medida se realizó una observación del entorno y se indago sobre algunas experiencias personales de los trabajadores frente a eventualidades ocurridas por exposición a atmosferas peligrosas durante su trabajo.

Instrumentos de Recolección de Datos

Se realizó una entrevista a cada uno de los 6 trabajadores, en donde se conocieron algunos detalles relevantes en pro de la investigación y puesta en funcionamiento del sistema para detección temprana de atmosferas peligrosas en la estación reguladora de gas natural.

Guion de Entrevista

- ❖ Presentación
 - El entrevistado es Javier Perez, un electricista de mantenimiento
- ❖ Preguntas
 - ¿Cuántos años lleva trabajando en el área de mantenimiento?
 - ¿Conoce los riesgos a los que está expuesto?
 - ¿En situaciones de mucho estrés que estrategias utiliza para manejar la situación?
 - ¿Conoce los peligros y riesgos a los que está expuesto durante su jornada laboral?

- ¿Conoce los efectos secundarios en el cuerpo humano por exposición a gas natural?
- ¿En caso de presentar una fuga de gas natural, cuál sería su actuar?
- ¿En caso de presentar un conato de incendio con gas natural, cuál sería el procedimiento a seguir?
- ¿Ha tenido o conocido acontecimientos de intoxicación por exposición a gas natural?
- ❖ Cierre de la entrevista
- Agradecimientos.

Pasos Para la Implementación del Proyecto

Paso 1 - Definir los Objetivos del Proyecto

Seleccionar los componentes electrónicos ideales, que más se adapten a las necesidades del proceso, teniendo en cuenta algunos factores clave como lo son: temperatura de trabajo al cual estará expuesto, margen de precisión, grado de protección (IP) frente a material particulado y humedad.

Considerar a los sistemas para la detección temprana de atmosferas peligrosas como una herramienta esencial en cuanto a seguridad industrial, ya que reducen al máximo el riesgo de intoxicación y explosiones por acumulaciones de atmosferas peligrosas.

Comprender los niveles inferiores de explosividad (LIE) de los gases detectados por las sondas de medición, así como también el umbral de partículas por millón (ppm) necesarias para generar consecuencias que pueden ir desde asfixia, perdida del conocimiento por desplazamiento de oxígeno y en el peor de los casos la muerte.

Controlar de manera efectiva la presencia en tiempo real de gases explosivos y tóxicos presentes en el ambiente, a través de sensores con tecnología catalítica haciéndolos muy

eficientes brindando condiciones de seguridad óptimas para los trabajadores 24 horas del día, los 7 días de la semana.

Capacitar mediante charlas informativas a todo el personal de mantenimiento sobre las precauciones y el buen manejo de los equipos para la regulación de gas natural, así como también los controles de seguridad y el protocolo a seguir en caso de presentar alguna eventualidad relacionada al gas natural como lo puede ser: Primeros auxilios y fuegos incipientes.

Paso 2 - Identificar los Riesgos

Hace referencia a aquellos riesgos latentes que pueden generar una lesión con o sin pérdida de tiempo hacia un colaborador del área, identificarlos y controlarlos es la principal herramienta para la prevención de accidentes.

Fugas de gas

Estas pueden llegar a ocurrir en cualquier momento, bien sea derivado a defectos en la tubería (Poros en las uniones de la soldadura) o por degradación de los equipos utilizados en el proceso de medición y regulación de la presión de gas natural. Para controlar e identificar este tipo de fugas en la tubería, el trabajador realiza una medición detallada con ayuda del detector para fugas (Snooper mini), el cual cuenta con la capacidad de detectar gases como lo son: Metano, propano e hidrogeno.

En un recorrido de rutina durante la jornada de inspección diaria al interior de la estación reguladora de gas natural, se logró percibir un extraño olor peculiar, el cual genero una serie de efectos secundarios en el equipo de trabajo (Mareos, y sensación de náuseas), debido a esto se opta por realizar minuciosamente un análisis de gases peligrosos con el detector de fugas de gas (Snooper mini H), evidenciando en su display digital una lectura de 850 ppm, acercando más el detector a la tubería se logra identificar que dicha fuga proviene de las juntas en la tubería de gas natural, haciendo de esta una condición de seguridad preocupante tanto para las personas como para el proceso, pues de seguir esta fuga se corre el riesgo de generar

asfixia hacia la persona o una explosión por acumulación de gases peligrosos al interior de la estación reguladora de gas.

Figura 10

Resultado de anomalía encontrada durante observación del entorno



Nota. La figura 10 evidencia una anomalía encontrada durante un análisis de gases con el detector de fugas de gas (Snooper mini), ya que es un equipo para ser usado en ambientes robustos, diseñado para la inspección de tuberías a la vista, además con la facilidad de contar con su respectivo sensor para gases como: Metano, propago e hidrogeno.

Fuente: La imagen fue tomada durante una inspección en la estación reguladora de gas.

Problemas de salud

La exposición prolongada al gas natural puede causar irritación de garganta, ojos, vías respiratorias y en el peor de los casos cáncer de pulmón.

Explosión

Debido al enriquecimiento de gas inflamable en el ambiente por una gasificación descontrolada, para evitar este riesgo se recomienda no encender el celular, luces, fumar y linternas que no cuenten con nivel de protección a prueba de explosiones.

Paso 3 - Establecer presupuesto

Para que el proyecto pudiera ser aprobado e implementado en mi lugar de trabajo fue necesario realizar un análisis detallado, mediante una investigación exhaustiva de los diferentes proveedores en la venta de componentes electrónicos e instrumentación para el control y medición en tiempo real para los diferentes tipos de gases tanto tóxicos como explosivos (Monóxido de carbono, propano, metano etc...) ideales para ser implementados en un ambiente industriales robusto, como lo es el proceso de recalentamiento para palanquillas metálicas en un horno a gas natural. Realizada la investigación se encuentran dos sondas de fabricación Italiana marca Atex SG895 para medición de gas y un micro procesador de fabricación Italiana marca BX 444-Mc que se adapta al presupuesto planteado para implementar el proyecto.

Tabla 7

Recursos Necesarios

Recurso	Descripción	Presupuesto
Equipo Humano	1 técnico electrónico calificado	200.000
Equipos y Software	Controlador de detección de gases tóxicos (BX444-Mc)	900.000
	Sonda convencional ATEX para zonas antideflagrantes (SG895-Atex)	600.000
Viajes y Salidas de Campo	Salidas hacia los laboratorios de aquellos proveedores de instrumentación electrónica	100.000
Materiales y suministros	Caja de pruebas	80.000
	Tubería galvanizada de ¾"	68.000
	Sensor patrón	450.000
	Sensor de gas CH4	120.000
Total:		2.518.000

Nota: La tabla 7 representa el resultado de aquellos recursos que fueron necesarios para llevar a cabo con éxito la implementación satisfactoria del sistema inteligente para el control en tiempo real de aquellos gases peligrosos en el ambiente de trabajo.

Fuente: El autor

Paso 4 - Definir un Cronograma

Tabla6

Cronograma de Actividades

Cronograma de actividades												
Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Recolección de información	Investigación técnica	Recopilación en bases de datos	Busqueda en el repositorio									
Diseño				Selección de componentes electrónicos	Reconocimiento de la sonda SG895	Etapa 1 y 2						
Pruebas y validación							Etapa 3	Caracterización del sistema	Mediciones equivalentes	Pruebas de alerta temprana		
Análisis											Culminación de pruebas	Resultados finales

Nota. La tabla 6 representa el cronograma de actividades en el cual se ha desarrollado este proyecto, en cuanto a la investigación, pruebas en taller eléctrico e instalación del sistema inteligente para la detección de atmosferas peligrosas al interior de una estación reguladora de gas natural en la empresa Diaco.

Fuente: Autoría propia

Implementación del Controlador

A continuación se detallan cada una de las etapas realizadas durante la ejecución del proyecto.

Etapas 1 - Diseño del montaje

Es una de las etapas más importantes del trabajo, pues es acá donde se seleccionan los componentes electrónicos a utilizar, conociendo su costo como también teniendo en cuenta una variedad de factores a monitorear como lo son: El tipo de gas a medir, densidad del gas, temperatura del ambiente al cual será sometida la sonda con sensor de tecnología catalítica, grado de protección contra ambientes agresivos, límite inferior de explosividad (LIE) y la precisión con la que se irán a tomar dichas variables.

Al ser la estación reguladora de gas natural un espacio de diferente nivel y con una temperatura de trabajo que oscila entre los 25°C y 45°C se opta utilizar la sonda convencional para detección de gas (SG 895) de fabricación Italiana, ya que brinda las garantías necesarias de trabajo al ser un equipo pensado en ambientes industriales extremos, con rangos confiables de detección para gases explosivos con temperaturas que van de -20°C hasta temperaturas superiores de 45°C en el nivel superior del techo.

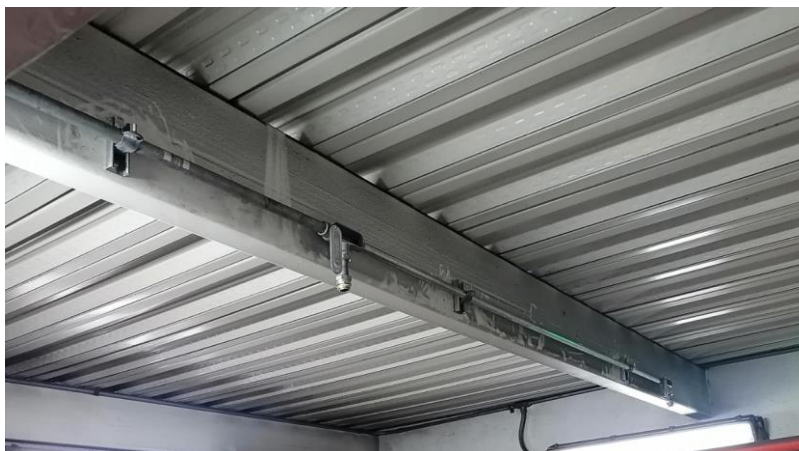
Etapas 2 - Tendido de Tubería y Cableado

En esta primera etapa se realiza la toma de medidas desde donde será el punto de instalación del microprocesador y las dos sondas para medición en la estación reguladora de gas, ubicadas a una altura de 30 cm del techo, esto debido a la necesidad de realizar medición

de gas natural y tener este una densidad menor que el aire, haciendo que los gases se concentren a un altura superior, luego se procede a realizar en el taller eléctrico el corte y roscado en la tubería de material galvanizado de diámetro $\frac{3}{4}$ " con ayuda de roscadora industrial para tubería , se fija dicha tubería en el techo y a las paredes en la estación reguladora de gas mediante abrazaderas metálicas, riel channel perforado, chazos de expansión y conduletas de $\frac{3}{4}$ " de diámetro, luego se procede a realizar el tendido del cableado de instrumentación calibre #18 con ayuda de una sonda de alambre para guiarlo al interior de la tubería galvanizada.

Figura 11

Instalación de tubería y tendido de cableado



Nota. En la figura 11 se aprecia la instalación y correcta fijación de la tubería en la parte superior de la estación reguladora de gas natural, con la finalidad de detectar aquellas concentraciones de gas que tienen una densidad menor que el aire.

Fuente: Imagen tomada durante el montaje de tubería y tendido de cableado en estación de gas natural

Etapa 3 – Instalación del Microprocesador

En esta etapa se realizó la instalación de la carcasa del microprocesador a la pared, con ayuda de las siguientes herramientas y materiales: Taladro percutor, broca de tungsteno $\frac{1}{4}$ ", tornillos golosos de pared, chazos plásticos de $\frac{1}{4}$ " y herramientas manuales de electricista (Destornilladores, alicata, pela cables, etc...). Se fijó la carcasa en el muro a una altura de 1.30 metros del suelo y retirado de elementos móviles que puedan ocasionar avería por golpe en el

microprocesador, siguiendo las recomendaciones para instalación del cableado dadas por el fabricante, en donde se recomienda un tipo de cable apantallado, el cual brinda la seguridad de eliminar aquellas corrientes parasitas que puedan tener un impacto perjudicial en el correcto funcionamiento, también se contempla una distancia no mayor de 100 metros desde el microprocesador BX 444-Mc hasta las sondas ATEX “SG895” ubicadas en el techo de la estación reguladora de gas natural.

Figura 12

Instalación de carcasa (microprocesador) en la pared



Nota. En la figura 12 se aprecia el proceso de instalación de la carcasa plástica que contendrá el microprocesador “BX444-Mc”, fijado a la pared con ayuda de chazos plásticos de $\frac{1}{4}$ ”, lo que garantiza una correcta fijación, además se encuentra a una distancia segura de partes móviles y fuentes de calor.

Fuente: Imagen tomada durante el montaje de la carcasa junto a la estación de gas natural.

Etapas 4 – Implementación de Alertas Sonoras y Visual

En esta tercera etapa se realizó el tendido de cableado calibre 14 AWG y coraza flexible de $\frac{1}{2}$ ” para la instalación de dos sirenas zumbadoras marca: SFIRE, ubicadas en la parte superior del horno Didier, cada sirena con una potencia de 120 decibeles, alimentadas a una tensión de 110 Voltios y una distancia de 20 metros desde el microprocesador BX444-Mc, se

han fijado las dos sirenas a la estructura con ayuda de tornillos auto perforantes de ¼" y taladro inalámbrico.

Al interior de la estación reguladora de gas se realizó el tendido de cableado calibre 14 para la alimentación de una baliza luminosa, cuya función es indicar de manera visual la presencia de atmosferas peligrosas al interior de la estación de gas con la siguiente característica: Baliza de color verde indica condición normal de trabajo (Sin presencia de gas peligroso), baliza de color rojo indica una condición de peligro (Presencia > a 50 ppm de gas natural en el ambiente). Por lo que es conveniente hacer un alto y realizar una medición más detallada para identificar la zona exacta en donde se está presentando la fuga de gas natural, evitando complicaciones a futuro, tanto para la salud de las personas como para el proceso.

Figura 13

Sirena de advertencia indicando presencia de atmósfera peligrosa



Nota. La figura 13 detalla el montaje de una sirena de advertencia sonora marca SFIRE, con una potencia de 120 decibeles, la cual ha sido instalada en la parte superior del horno laminador, cuya función es dar aviso sonoro intermitente en caso de llegar a presentar una condición de seguridad frente a detección de una atmosfera explosiva al interior de la estación reguladora de gas natural del horno, dando aviso al personal capacitado de mantenimiento para realizar las correcciones necesarias y evitar que se genere asfixia o una explosión por acumulación de gases peligrosos.

Fuente: Imagen tomada en la parte superior de horno Didier.

Figura 14

Baliza luminosa para indicación de gas peligroso



Nota. La figura 14 representa a la baliza luminosa, instalada en la parte superior de la estación de gas, alimentada a una tensión de 120 VAC, indicando una condición normal de funcionamiento (color verde), esta baliza luminosa viene en material led, haciéndola muy duradera al material particulado, su costo en el mercado está en: \$ 100.000 pesos.

Fuente: Imagen tomada al interior de la estación reguladora de gas natural.

Figura 15

Tarjeta electrónica de sonda



Nota. La Figura 15 representa el complejo sistema electrónico que compone la sonda de medición SG 895 para atmosferas peligrosas, indicando mediante un led de color verde en la tarjeta electrónica el estado de monitoreo automático de gas natural en el ambiente. Esta tarjeta electrónica es de fabricación italiana, con grado de protección IP65, el precio de esta sonda de medición esta alrededor de los \$400.000 pesos colombianos.

Fuente: La imagen anterior fue tomada al interior de la estación reguladora de gas en la planta Diac

Figura 16

Prueba de funcionamiento en laboratorio electrónico



Nota. En la figura 16 se puede apreciar una prueba de funcionamiento, tanto de los sensores catalíticos como del microprocesador usado en la detección de gases peligrosos, realizando pruebas a diferentes concentraciones de gas natural, iniciando con un valor de 20 ppm hasta 200 ppm, se puede apreciar el cambio de color (Rojo) en la pantalla del display, la prueba se realizó a una temperatura ambiente de 25°C, estas sondas serán implementadas en el techo de la estación reguladora de gas natural.

Fuente: Autor

Figura 17

Montaje de sondas SG895 en estación de gas natural



Nota. En la figura 17 se logra apreciar el montaje a nivel del techo de las dos sondas SG895 con sensores de tecnología catalítica, así como también la fijación a la tubería al techo y su respectivo cableado de instrumentación con protección contra atmósferas explosivas, estas sondas de medición soportan ambientes hostiles son su grado de protección IP65, además cuentan con protección a prueba de explosiones, la conexión del cableado se realizó siguiendo instrucciones dadas por el fabricante

Fuente: El autor

Figura 18

Montaje de Centralita BX444-Mc



Nota. En la figura 18 se aprecia el montaje electrónico de la centralita BX444-Mc en la entrada hacia la estación reguladora de gas natural del horno, indicando en su display un correcto funcionamiento (Color verde) sin presencia de atmosferas peligrosas y con valores de 0 ppm en el ambiente de trabajo.

Fuente: Autor.

Figura 19

Centralita indicando detección de atmosfera peligrosa



Nota. En la figura 19 se aprecia el cambio de color en el display del microprocesador BX444-Mc estando el display en color de alarma (rojo), lo que indica una detección de atmosfera peligrosa dada en ppm (Partículas por millón), a su vez se está emitiendo un testigo intermitente en la indicación de alarma #2, a su vez una señal sonora intermitente mediante la sirena, dando advertencia de la condición anómala. Esta alarma dejara de sonar hasta que el personal de reset y realice nuevamente el testeo del sistema y indique una medición de 0 ppm.

Fuente: Autor

Figura 20

Indicaciones de componentes



Nota. En la figura 20 brinda información dependiendo el tipo de gas monitorizado por cada zona. La centralita tiene 4 micro interruptores para seleccionar la lectura el tipo de gas que las sondas conectadas deben monitorear. Seleccionando el micro-interruptor en GAS se obtiene la lectura en L.I.E. Gas Explosivo, seleccionando el micro-interruptor en CO se obtiene la lectura en ppm Gas Tóxico.

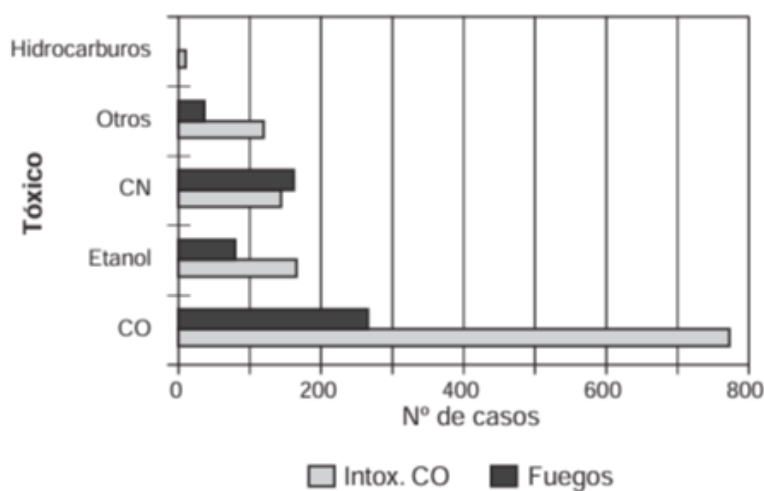
Fuente: Tomado de ficha técnica microprocesador BX444-Mc.

Análisis de los Resultados

A continuación, se muestran los principales resultados obtenidos en la puesta a punto del sistema para la detección de atmosferas peligrosas al interior de una estación reguladora de gas natural de la empresa Diaco, así como algunos datos relevantes que permitieron tomar conciencia en cuanto a la importancia de realizar este tipo de implementación en el entorno industrial en pro de la seguridad hacia las personas.

Figura 21

Principales tóxicos detectados en el organismo por muertes derivadas a intoxicaciones



Nota. En la figura 21 se puede ver cuáles han sido los principales tóxicos detectados en el organismo en cuanto a muertes relacionadas con fuegos e intoxicaciones por monóxido de carbono siendo el monóxido de carbono aquel que tiene mayor participación en las muertes.

Fuente. Imagen tomada del instituto de toxicología de Madrid.

Se encuestó a los 6 trabajadores, tanto de mantenimiento eléctrico como mantenimiento mecánico, en donde se conoció un poco más a fondo algunos detalles relevantes en cuanto a situaciones personales que tuvieron durante sus jornadas de trabajo, en donde llegaron a presentar algunas molestias leves a nivel respiratorio, uno de los colaboradores evidenció que en alguna ocasión sintió náuseas acompañadas de adormecimiento en las extremidades. Se presentan los resultados de un estudio realizado por profesionales de la salud humana, en donde se evidencian aquellos efectos secundarios en el cuerpo humano por exposición prolongada a gas natural, el daño a nivel neuronal es directamente proporcional con el tiempo de exposición y la concentración de ppm presentes en el ambiente de trabajo, conociendo que en concentraciones superiores a 50 ppm los efectos se comienzan a sentir, yendo desde dificultad respiratoria hasta una exposición a 1.300 ppm, trayendo consigo efectos fisiológicos inmediatos, seguidos de la pérdida del conocimiento y la muerte de la persona.

Se consideró importante conocer los niveles de exposición a los que estaban expuestos los trabajadores de mantenimiento, durante la etapa de puesta a punto y corrección de fugas se evidenció una mejoría en cuanto a los niveles de ppm presentes en la estación de gas, este gas al ser más ligero que el aire se almacena en las partes más elevadas de la estación reguladora de gas.

Posteriormente después de haber hecho seguimiento durante 20 días de continuo al funcionamiento de los sensores catalíticos y el microprocesador, se logra evidenciar una confiabilidad positiva en la detección oportuna de una atmósfera peligrosa, inicialmente detectando valores de 55 ppm hasta 700 ppm, lo que permite dar un aviso oportuno mediante sirenas y visualización a los trabajadores, mejorando notablemente las condiciones de trabajo y la percepción del peligro, logrando hacer que esta tarea un poco más amigable con el medio ambiente y sobre todo con la seguridad de los trabajadores de mantenimiento tanto eléctrico como mecánico. A continuación se presenta la tabla 7 en donde se exponen aquellos productos

esperados que se lograron dar cumplimiento desde la hipótesis generada, pasando por la planeación y puesta a punto del sistema para detección de gas natural.

Tabla7

Resultados Esperados

Resultado o producto esperado	Indicador	Beneficiario
Mejora en cuanto a la seguridad industrial	Reducción en el índice de incidentes reportados	Operarios y colaboradores del área de mantenimiento laminación Personal humano, pues mediante un monitoreo constante se reduce el riesgo de contaminación por gases tóxicos
Monitoreo constante de gases peligrosos	Monitoreo las 24 horas del día, los 7 días de la semana	Reducción en los niveles de costos hacia la producción al reducir el consumo excesivo de gas natural
Reducción en niveles de CO ₂ y CH ₄	Cero emisiones de monóxido de carbono (CO ₂)	El personal de mantenimiento tiene un control más efectivo en el nivel de emisiones
Confiabilidad en la nueva tecnología de sensores catalíticos para el control de gases peligrosos	Productos de calidad certificados por el fabricante	

Nota. En la tabla 7 se representan los resultados esperados, los cuales lograron ser obtenidos gracias a la confiabilidad y correcta instalación, siguiendo al detalle las recomendaciones dadas por el fabricante del sistema para detección de atmósferas peligrosas compuesto por un microprocesador BX444-Mc y dos sondas ATEX SG895.

Fuente: El autor

Discusión de los Resultados

Los resultados del estudio obtenido nos muestran que los casos en relación con fuegos incipientes e intoxicaciones por exposición a monóxido de carbono afectaron de forma mayoritaria a aquellos trabajadores que tenían un contacto más directo hacia la estación reguladora de gas

Los efectos devastadores del gas a nivel mundial nos muestran que en el año 2022 la tasa de mortalidad mundial por intoxicación involuntaria al monóxido de carbono fue de 0,366 por cada 100,000 personas, lo que equivale a un total de 28,900 personas fallecidas.

Si es posible la reducción de accidentes por inhalación de gases peligrosos, mediante una detección temprana con la implementación del controlador BX444-Mc y las dos sondas ATEX SG895, gracias a su tecnología de fabricación Italiana y confiabilidad en cuanto a la detección de atmosferas peligrosas mediante sensores de tecnología catalítica, los cuales inicialmente se pusieron a prueba en temperaturas de trabajo que superaban los 55 °C, mostrando una eficiencia en su detección, posteriormente estos sensores se instalaron a nivel del techo dentro de la estación regulador de gas natural, durante un periodo de 20 días, se les realizó un seguimiento constante de su confiabilidad en la detección mostrando unos resultados favorables para confiar en su precisión de detección.

Anteriormente cuando no estaba este tipo de sistema instalado para la detección de atmosferas peligrosas se presentaban casos en donde los trabajadores de mantenimiento reportaban en enfermería algunas molestias, bien sea de naturaleza respiratoria como a nivel de extremidades, en donde inicialmente comenzaban a sentir dolores de cabeza que iban aumentando con el tiempo, hasta llegar a presentar sensación de visión borrosa, mareo y adormecimiento en extremidades, tanto del tren superior como del inferior, un ejemplo de este caso fue dado a conocer por el compañero: Lisandro Arévalo, una persona activa y amante del atletismo, con tan solo 27 años presento un episodio de malestar general y adormecimiento.

Conclusiones

En la tabla 1 del documento se aprecian los efectos secundarios en el cuerpo humano dependiendo el nivel de exposición dado en partículas por millón (ppm), en donde a medida que vaya aumentando el tiempo de exposición y la concentración en ppm será más perjudicial, ya que los síntomas de la asfixia pueden estar dados en la pérdida de movilidad y conocimiento, la persona afectada puede no ser consciente de la asfixia que está presentando. En concentraciones más elevadas causa depresión del sistema nervioso central acompañada de sensibilización cardiaca. En bajas concentraciones de exposición se pueden manifestar efectos narcóticos, acompañados de mareos, náuseas, pérdida de la coordinación.

Anualmente en Colombia mueren alrededor de 430 personas por envenenamiento accidental a causa del monóxido de carbono (CO), ya que son más frecuentes en épocas frías, pues si bien en los hogares aumenta el uso de todo tipo de calefactores y porque suelen cerrarse las ventanas y puertas limitando el ingreso de aire fresco, también la extracción de aquellos gases tóxicos que se acumulan en el interior de las viviendas.

Como factor de seguridad es aconsejable recibir capacitación para estar enterado sobre el procedimiento a seguir para llegado el caso necesitemos auxiliar a una persona que ha sufrido afectación por exposición a monóxido de carbono, como primera medida sea cortar el suministro de gas, trasladar la víctima hacia el exterior y mantenerla abrigada en una posición cómoda para respirar. Si no hay respiración, esta es irregular u ocurre un paro cardiaco en donde se identifique ausencia de pulso cardiaco, avisar al número de emergencias (123), proporcionar respiración artificial e iniciar reanimación cardio pulmonar (RCP) a la víctima hasta que llegue el equipo de emergencias. Se optó por la elección de sensores catalíticos para el proyecto, ya que estos son reconocidos gracias a su sensibilidad , confianza y durabilidad, siendo así la opción más indicada para la mayoría de los procesos, los componentes del sensor se fabrican directamente en la empresa para garantizar el máximo desempeño posible en la detección de gases peligrosos.

Recomendaciones

Teniendo en cuenta el tipo de sonda y el gas a monitorear (Gas natural) se debe implementar el sensor catalítico a una altura superior por tratarse de gas natural, el cual es menos denso que el aire ($0,737 \text{ Kg/m}^3$), por esta razón la sonda se instalara a una altura de 30 centímetros del techo superior.

Es importante mantener limpia la superficie de los sensores, ya que de no ser así el dispositivo puede perder sensibilidad en la captación de gas natural y las lecturas que muestra en el display de la centralita pueden estar erradas.

En elevadas concentraciones de exposición a gas natural puede provocar asfixia, manifestándose en la pérdida de la movilidad y conocimiento, trayendo consigo consecuencias como lo son: depresión del sistema nervioso central y sensibilización cardiaca. En bajas concentraciones de exposición a gas se pueden producir efectos narcóticos.

En caso de llegar a presentar un evento hacia uno de los trabajadores por exposición prolongada al gas natural, es de vital importancia conocer el protocolo de primeros auxilios para este tipo de casos: Trasladas la victima hacia un ambiente ventilado y ubicarla en una posición que le permita respirar de manera confortable, solicitar asistencia médica y llamar al #123 de emergencias.

Se recomienda hacer la instalación y mantenimiento de los dispositivos electrónicos mencionados anteriormente solo por personal autorizado, capacitado y entrenado para intervención en sistemas para el monitoreo de gas natural.

Referencias Bibliográficas

- Benavides Ramírez, J. C. (2020). Dispositivo inteligente con tecnología móvil para la detección y prevención de accidentes causados por fuga de gas doméstico: modelo de implementación para la empresa Intec PC (Bachelor's thesis).
https://www.researchgate.net/publication/372485488_Modulo_universal_para_la_deteccion_de_gases_en_edificios_y_viviendas.
- Carpio Aguilar, F. R. *Control y monitoreo de distribución de gas natural en Tarija* (Doctoral disertación). <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/30992>.
- Condori, C. A. P. (2015). Propuesta de un diseño para un sistema de control y monitoreo de fugas de gas a fin de reducir riesgos laborales, en una Estación de Servicios de GLP (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN).
<https://repositorio.unsa.edu.pe/bitstreams/c84d3859-362d-4758-a34b-245d284960b9/download>.
- Correa Varas, J. S., & Zavala Chacón, I. G. (2020). Diseño e implementación de un sistema de detección y monitoreo de gas metano en una maqueta de planta de tratamiento de aguas (Bachelor's thesis). <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18651>.
- Cristóbal Velásquez, L. A. (2019). Modernización de sistema de detección de gases inflamables en sala de bombas, a bordo del buque tanque Huascarán–Naviera Transoceánica.
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2740>.
- Espinosa Apráez, B. (2015). La responsabilidad por producto defectuoso en la Ley 1480 de 2011. Explicación a partir de una obligación de seguridad de origen legal y constitucional. *Revista de derecho privado*, (28), 367-399.
<http://dx.doi.org/10.18601/01234366.n28.11>.
- Gualdrón Palacios, S. E. (2013). Ingeniera básica para el diseño sistema de monitoreo, detección y alarma, humo, fuego y gas (F&G) de las estaciones de compresión de gas de la Transportadora de Gas Internacional TGI. <http://hdl.handle.net/20.500.11912/1288>.

- Guevara Bolaños, A., & García Llajaruna, D. P. A. (2024). Impacto del recalentamiento en cascada con hornos de inducción en la mejora de los indicadores energéticos del proceso de calentamiento de palanquillas. <https://hdl.handle.net/20.500.14278/4606>.
- Luque Berraquero, R. (2021). Digitalización del proceso de localización de fugas de gas en estaciones depuradoras mediante drones. <https://hdl.handle.net/11441/128762>.
- Pinto Condori, C. A. (2015). Propuesta de un diseño para un sistema de control y monitoreo de fugas de gas a fin de reducir riesgos laborales, en una estación de servicios de GLP. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSA_61ab503f8d44fe7298cd20cd3d5a37cd.
- Pulido Montoya, J. L. (2005). Prevención y control de incendios y explosiones en la producción y almacenamiento de gas licuado de petróleo-GLP. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3495837>.
- Quispe Saavedra, A. A., & Sanchez Chauca, P. A. (2019). Aplicación de la programación lineal para maximizar la eficiencia en hornos de recalentamiento, empresa Siderúrgica del Perú SAA Chimbote, 2018. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/34868>
- Rangel, J., Garzán, J., Sofrony, J., & Kroll, A. (2015). Inspección de fugas de gas basada en imágenes termografías, visuales y de profundidad y una estrategia de detección mejorada por profundidad. *Revista de Ingeniería*, 42, 8-16. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-49932015000100003&script=sci_abstract&tlng=es.
- Rosado, D. M., Chávez, S. R., De los Santos Reyna, Y., & Huallpachoque, R. C. (2016). Optimización del combustible por precalentamiento de la carga y enriquecimiento con oxígeno en los hornos de recalentamiento de la industria siderúrgica. *SCIENDO*, 19(2), 57-65. <https://doi.org/10.17268/sciendo.2016.005>

Sánchez, J. J., & Rodríguez, G. E. (2008). Dispositivo electrónico automatizado con electroválvulas para el control de fugas de gas domiciliario.

<https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/1312>.

Silva-Castro, Y. N., & Jiménez-Castrillón, E. J. S. (2022). Desarrollo de un sistema de monitoreo y alertas tempranas para gas natural y monóxido de carbono en el hogar.

<https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/19711484-64a3-43d7-9a15-457af1b2a0dd>