

Elaboración de un *dashboard* de prevención para la identificación y control de riesgos vinculados a la gestión de mantenimiento en zonas clasificadas como explosivas

Introducing a novel dashboard for assessing risks in potential explosive working areas based on maintenance management.

Richard Alexander García Moreno

Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador, 090112

Autor de correspondencia: richard.garciam@ug.edu.ec

Vol. 02, Issue 03 (2023): December

DOI:

<https://doi.org/10.53591/easi.v2i3.2610>

ISSN 2953-6634

Submitted: December 12, 2023

Revised: December 25, 2023

Accepted: December 26, 2023

Engineering and Applied
Sciences in Industry
University of Guayaquil. Ecuador
Frequency/Year: 2

Web:

revistas.ug.edu.ec/index.php/easi

Email:

easi-publication.industrial@ug.edu.ec

How to cite this article:

García, R. (2023). Elaboración de un dashboard de prevención para la identificación y control de riesgos vinculados a la gestión de mantenimiento en zonas clasificadas como explosivas. *EASI: Engineering and Applied Sciences in Industry*, 2(3), 27-36. <https://doi.org/10.53591/easi.v2i3.2610>

Articles in journal repositories are freely open in digital form. Authors can reproduce and distribute the work on any non-commercial site and grant the journal the right of first publication with the work simultaneously licensed under a CC BY-NC-ND 4.0.

Resumen. Las industrias que manejan polvos combustibles están sujetas a regulaciones y normativas estrictas para prevenir y controlar el riesgo de explosiones. Las atmósferas explosivas (ATEX) son mezclas de sustancias inflamables en forma de gas, vapor niebla o polvo en el aire, que pueden generar una explosión si se encuentra en condiciones adecuadas. Se desarrolló una herramienta que garantice la salud de los trabajadores y la protección de las instalaciones frente al riesgo de explosión por polvo, mediante la identificación y clasificación de las atmósferas explosivas, así como la aplicación de las medidas técnicas y organizativas adecuadas, basada en criterios obtenidos a partir de una revisión sistemática de la literatura (PRISMA). El nuevo panel de control permite analizar la evolución del nivel de adherencia a los indicadores de seguridad en zonas clasificadas como explosivas por polvo. Está formado por un cuestionario, y un plan de acción y rampa de implementación de seguridad. El panel de control constituye una herramienta importante en la gestión de los riesgos mediante la supervisión y control, guiando los procedimientos, y promoviendo la capacitación y buenas prácticas en ambientes de trabajo potencialmente explosivos, con el fin de concientizar y minimizar los accidentes e incidentes por polvo combustible.

Palabras claves: atex, polvo explosión, atmosferas explosivas, polvos combustibles, Dashboard

Abstract. Industries handling combustible powders are subject to strict regulations and standards to prevent and control the risk of explosions. Explosive atmospheres (ATEX) are mixtures of flammable substances in the form of gas, vapor, mist, or dust in the air, which can lead to an explosion under appropriate conditions. A new dashboard is proposed to evaluate the risk of dust explosions. This tool leads the identification and classification of potential explosive environments, based on suitable technical and organizational indicators derived from a systematic literature review (PRISMA). The new control panel allows the analysis of the adherence level to safety indicators in areas classified as explosive due to dust. A new questionnaire and action plan is designed, with a safety implementation ramp. The control panel is a crucial tool in risk management by monitoring and controlling processes, guiding procedures, and promoting training and best practices in potentially explosive work environments. The goal is to raise awareness and minimize accidents and incidents related to combustible dust.

Keywords: atex, dust explosion, explosive atmospheres, combustible dusts, dashboard

1. INTRODUCTION

Las atmósferas explosivas (ATEX) se refieren a mezclas de sustancias inflamables presentes en forma de gas, vapor, niebla o polvo en el aire, capaces de desencadenar una explosión bajo condiciones específicas. Estas condiciones incluyen la presencia de una fuente de ignición, como una chispa eléctrica, una llama abierta o una superficie caliente, junto con una concentración suficiente de la sustancia inflamable en el ambiente. Es crucial destacar que los polvos inflamables, a menudo pasados por alto, representan una amenaza significativa en diversos entornos industriales. Su potencial para generar eventos catastróficos, como explosiones, pone de manifiesto la importancia de una gestión efectiva de estos riesgos. Las consecuencias de no abordar adecuadamente la presencia y el peligro estos polvos pueden incluir no solo daños a la propiedad, sino también riesgos significativos para la seguridad y la salud de los trabajadores y comunidades circundantes. Por lo tanto, tomar medidas preventivas y adoptar prácticas seguras en la manipulación de polvos inflamables se vuelve esencial para preservar la integridad de las personas y los entornos industriales. (Caro y Carvajal, 2022)

La historia contemporánea de las (ATEX) encuentra sus raíces en el siglo XIX, un periodo caracterizado por la rápida industrialización y el aumento significativo en la utilización de sustancias inflamables en los procesos industriales. El incremento en el uso de materiales propensos a la inflamación generó un notable aumento en los riesgos de explosiones, especialmente considerando que más del 70% de los polvos empleados en diversas industrias tienen la capacidad de desencadenar incendios. Esta situación plantea una amenaza considerable, ya que la mayoría de las instalaciones industriales que incorporan equipos de procesamiento de se vuelven inherentemente susceptibles a las explosiones. La combinación de partículas finas y sustancias inflamables en el entorno industrial crea un escenario propicio para la formación de atmósferas explosivas, elevando así la probabilidad de eventos catastróficos. (Abbasi y Abbasi, 2007)

En la actualidad, las empresas dedicadas al manejo de ATEX se encuentran bajo el escrutinio de regulaciones y normativas rigurosas diseñadas para prevenir y controlar de manera efectiva los riesgos asociados con posibles explosiones. De acuerdo con las directrices establecidas en la normativa ATEX, estas medidas comprenden la implementación de sistemas de ventilación adecuados, el uso de equipos eléctricos y mecánicos que cumplen con estándares de seguridad, la aplicación de técnicas de supresión de polvo, la realización de análisis exhaustivos de riesgos, y la capacitación del personal “Directiva 1999/92 estipula que los empleadores documenten los esfuerzos para lograr los objetivos citados mediante la redacción de un documento de protección contra explosiones que describa lo siguiente antes del inicio del trabajo en y alrededor de las atmósferas explosivas” (Zalosh, 2019, p 260).

La normativa de la UE de 2014 y 1999 enfatiza la necesidad de implementar estrategias proactivas de mantenimiento que anticipen y aborden posibles problemas en las áreas ATEX. Esto implica la ejecución de programas sistemáticos de mantenimiento preventivo, diseñados para identificar y corregir posibles fallas antes de que se conviertan en problemas críticos de seguridad. “La instalación y mantenimiento de equipos en atmósferas explosivas es una parte clave de la política de prevención contra explosiones de cualquier planta con zonas clasificadas ATEX” (Gómez y Amalthea, 2015. p,1).

La gravedad de las consecuencias derivadas de las explosiones destaca la importancia de adoptar un enfoque preventivo. En este contexto, se destaca la necesidad de desarrollar y proporcionar herramientas efectivas y capacitación especializada para el personal técnico, con el objetivo de mejorar la identificación temprana de riesgos y fortalecer las prácticas preventivas. La gestión proactiva de estos riesgos en áreas ATEX no solo contribuirá a salvaguardar la seguridad del personal, sino que también ayudará a preservar la integridad de las instalaciones y a evitar posibles efectos secundarios que podrían derivarse de eventos explosivos (Diaz, F., 2006).

Al considerar la variabilidad en las características de riesgo entre distintas sustancias, la categorización basada en la naturaleza de los materiales contribuye a un enfoque más específico y personalizado en la gestión de riesgos en áreas ATEX. Esta estrategia no solo facilita la identificación y comprensión de los posibles peligros, sino que también permite la implementación de medidas de seguridad más efectivas y ajustadas a las necesidades particulares de cada entorno industrial (CEPYME, 2018).

Este proceso es esencial para asegurar la protección tanto de los trabajadores como de las instalaciones, mediante la implementación de medidas preventivas destinadas a evitar cualquier fuente potencial de ignición que pudiera desencadenar una explosión. La meta principal de este enfoque es salvaguardar la seguridad en el entorno laboral, estableciendo claramente las áreas donde existe un riesgo significativo de formación de atmósferas explosivas. Al delimitar estas zonas, se posibilita la aplicación de medidas específicas destinadas a minimizar la probabilidad de aparición de condiciones explosivas y, por ende, a prevenir situaciones peligrosas (INSST, 2021).

1.1. Fundamentación teórica

Dashboard o Sistema de control para la gestión

Los Dashboard o sistemas de control y diagnóstico cumplen un rol vital en la gestión de una organización, siendo componentes fundamentales para la supervisión y evaluación de su desempeño. Estos sistemas desempeñan una función crucial al asegurar que la organización esté alineada con sus objetivos estratégicos y pueda adaptarse de manera efectiva a las variaciones en su entorno. Además, no solo suministran la información esencial para la toma de decisiones informadas, sino que también fomentan la mejora continua y la eficacia operativa de la organización al proporcionar una visión detallada y actualizada de su estado y progreso (Gonzales, 2017).

En resumen, los Dashboard o sistemas de control y diagnóstico son herramientas integrales que no solo informan sobre el desempeño organizacional, sino que también impulsan la adaptabilidad. Su implementación eficaz contribuye significativamente al éxito y la sostenibilidad a largo plazo de una organización.

Retroalimentación y Evaluación Continua

Los sistemas de control se encargan de suministrar de manera constante una retroalimentación acerca del rendimiento de la organización en concordancia con sus metas estratégicas. Al recopilar y analizar datos, posibilitan a la alta dirección evaluar la eficacia de las estrategias que han sido implementadas, proporcionando así la base necesaria para la toma de decisiones informadas. Este proceso no solo implica una evaluación estática de los resultados, sino que también permite una comprensión dinámica y en tiempo real de cómo las estrategias influyen en el curso general de la organización. La información obtenida a través de estos sistemas facilita a los líderes una visión integral y actualizada, capacitándolos para realizar ajustes y mejoras proactivas en la búsqueda constante de los objetivos estratégicos de la organización. (Hernández, M., 2016)

Ajuste de Estrategias y Toma de Decisiones

La recolección de información a través de estos sistemas proporciona a la alta dirección la capacidad de identificar áreas que necesitan mejoras o ajustes en la estrategia organizacional. Al contar con datos precisos y actualizados, los líderes pueden tomar decisiones estratégicas con mayor confianza, lo que contribuye a optimizar el rendimiento general de la organización, pueden incluir aspectos como eficiencia operativa, satisfacción del cliente, procesos internos, entre otros (Vega, 2008). La información recopilada no se limita a indicar la necesidad de ajustes; también proporciona un análisis detallado de las causas subyacentes de los problemas identificados. La clave reside en la precisión y actualización de los datos recopilados. Al tener acceso a información en tiempo real o periódicamente actualizada, los líderes pueden confiar en la exactitud de los análisis y tomar medidas basadas en información confiable.

Orientación hacia Metas y Objetivos

Los sistemas de control y diagnóstico son concebidos con el propósito de sincronizar las conductas y actividades de la organización con sus metas y objetivos estratégicos. Estos sistemas ofrecen métricas y KPIs (indicadores clave de rendimiento) que posibilitan la medición del progreso y la eficacia en la consecución de los resultados esperados. Al proporcionar métricas y KPIs claros, permiten a la organización definir objetivos que pueden ser evaluados de manera cuantitativa para medir el progreso de manera efectiva. (Fernández-Villavicencio et al., 2013). La retroalimentación constante proporcionada por estas métricas permite a la organización aprender y mejorar continuamente. La capacidad de ajustar estrategias en tiempo real basándose en datos concretos es fundamental para la agilidad y la resiliencia organizacional.

En resumen, los sistemas de control y diagnóstico no solo se centran en medir el progreso, sino que actúan como guías estratégicas, proporcionando información crítica para la toma de decisiones, la adaptación continua y el logro efectivo de los objetivos organizacionales.

Mejora Continua

La retroalimentación continua proporcionada por estos sistemas allana el camino hacia un enfoque de mejora continua. Al identificar tanto áreas de oportunidad como áreas de éxito, la organización tiene la capacidad

de realizar cambios incrementales y optimizar sus procesos, lo que le permite adaptarse de manera efectiva a un entorno empresarial que está en constante evolución (Hernández, M., 2016). Esto podría incluir procesos internos, eficiencia operativa, satisfacción del cliente u otras áreas cruciales para el rendimiento organizacional.

Adaptabilidad y Resiliencia

Contribuyen a que la organización sea más flexible y resistente al suministrar información en tiempo real acerca de las transformaciones en el entorno empresarial. Esto posibilita una respuesta ágil y eficaz ante situaciones inesperadas. La información en tiempo real proporcionada por estos sistemas permite a la organización detectar rápidamente cualquier cambio en el entorno empresarial. Esta agilidad es esencial para ajustar estrategias y operaciones de manera oportuna en respuesta a nuevas condiciones o tendencias del mercado.

El avance de las investigaciones y el manejo de datos en la actualidad exige el uso de herramientas poderosas para facilitar la utilización de los datos, acelerar la obtención de resultados y lograr una mayor precisión “la implementación de la Industria 4.0 requiere un enfoque holístico, que incluya avances tecnológicos, planificación estratégica y consideraciones centradas en el ser humano” (Fajardo et al. 2023. p, 8).

2. METODOLOGÍA

Se llevó a cabo una recopilación documental mediante una revisión sistemática, utilizando el método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Este estudio se cataloga como enfoque cualitativo. El enfoque cualitativo se centra en la caracterización y análisis de las causas de la problemática observada en las zonas clasificadas como explosivas debido al agente polvo, a través de una búsqueda exhaustiva de artículos científicos y normativas relacionadas con las zonas ATEX. Este análisis permitió evaluar la gravedad del problema, especialmente en lo que respecta a la falta de implementación oportuna de medidas de control.

El enfoque cualitativo proporciona una comprensión detallada y contextualizada de las causas subyacentes de la problemática en las zonas ATEX, Este método fortalece la validez y la integralidad de la investigación, al abordar los aspectos cualitativos relacionados con la problemática en cuestión.

Los artículos y normas fueron extraídos de bases de datos reconocidas: Science Direct, SciELO y Google Académico. Se obtuvieron un total de 65 artículos relevantes: 38 de ellos se encontraban registrados en la base de datos de Google Académico, 18 en Science Direct y 9 en Scielo.

En las fases de identificación, evaluación e inclusión, se identificaron algunos artículos duplicados, excluyendo un total de 20 manuscritos. Al aplicar criterios de inclusión/exclusión, 14 artículos fueron descartados. Finalmente, se obtuvo un número total de 31 artículos que cumplieron con los requisitos de elegibilidad, y fueron utilizados para el análisis y descripción del tema.

2.1. Criterios de inclusión

- a. Las publicaciones debían haber sido realizadas entre los años 1994 y 2023.
- b. Los artículos podían estar escritos en idioma inglés o español.
- c. La bibliografía debía estar relacionada con el tema principal de atmósferas explosivas por polvo combustible en industrias.
- d. Los artículos debían incluir información sobre la metodología PSM (Process Safety Management) y accidentes laborales por polvo.
- e. Se requería que los artículos incluyeran referencias a las normas ATEX.
- f. Se consideraban relevantes aquellos artículos que presentaran información sobre accidentes de gran magnitud producidas por explosiones en ATEX.
- g. Se buscaba que los artículos proporcionaran medidas de prevención en las zonas ATEX.
- h. También se consideraban aquellos artículos que incluyeran información sobre la elaboración de un Dashboard.
- i. Estos criterios de inclusión fueron utilizados para seleccionar los 31 artículos que finalmente fueron analizados en relación con el tema deseado.

2.2. Aspectos éticos

El objetivo del desarrollo de normas éticas y jurídicas universales es establecer límites y controlar los abusos en el uso de la ciencia y la tecnología, así como promover y proteger los derechos fundamentales de las personas. En esta

revisión sistemática, se respeta el derecho de los autores al citar adecuadamente las referencias correspondientes para dar el debido crédito a las investigaciones consultadas. (Zavala & Alfaro-Mantilla, 2011)

2.3. Datos del estudio

Se han seleccionado artículos que exploran estudios y características afines a las palabras clave previamente mencionadas, abarcando términos como 'atex', 'dust explosion', 'atmosferas explosivas', 'polvos combustibles' y 'Dashboard dust'. Se llevaron a cabo combinaciones mediante el operador booleano AND con el fin de obtener búsquedas pertinentes en español, como, por ejemplo, 'polvos AND explosivos AND combustibles', y se siguió un procedimiento similar en inglés mediante 'dust AND explosion'.

Esta estrategia de búsqueda se diseñó para garantizar la inclusión de estudios y análisis que se alineen estrechamente con los temas de interés, brindando así una recopilación más precisa y relevante de la literatura disponible en ambos idiomas. Cabe destacar que el enfoque de búsqueda se centró en aspectos relacionados con la seguridad industrial y riesgos asociados a sustancias combustibles en diversos entornos, como lo sugieren las palabras clave seleccionadas (Tabla 1).

Tabla 1. Artículos y normas considerada para el estudio

Título del artículo	País	Criterios de inclusión	Base de datos
29 CFR 1910.119, Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals -- Compliance Guidelines and Enforcement Procedures	Canadá 2015	Idioma Ingles Este articulo busca los enfoques eficaces para evaluar, prevenir y mitigar explosiones mediante la metodología PSM	Google Académico
Dust explosions: Regulations, standards, and guidelines	EEUU 2019	Idioma Ingles En esta revisión se establece los reglamentos fundamentales para la gestión segura de polvos combustibles	ScienceDirect
Explosiones de Polvo en Plantas Cereales	Argentina 2002	Idioma Español En esta revisión se evidencian conceptos de evaluación tratamiento y metodología de los procesos de explosión por polvo	Google Académico
Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.	España 2021	Idioma Español Esta guía proporciona una serie de resultados relevantes que son esenciales para garantizar un entorno de trabajo seguro	Google Académico
Guía técnica para la elaboración de planes de mitigación y prevención de incendios y/o explosiones ocasionadas por el inadecuado manejo de polvos combustibles en entornos industriales	Bogotá 2022	Idioma Español Conecta de manera clara los fundamentos de seguridad intrínseca, como la reducción, reemplazo, control y simplificación, con enfoques destinados a prevenir y atenuar las explosiones de polvo.	Google Académico
Dust explosions-Cases, causes, consequences, and control	India 2006	Idioma Ingles Los estudios de casos ilustrativos y los análisis de accidentes, la distribución geográfica y el daño potencial de las explosiones de polvo en todo el mundo.	ScienceDirect
NTP 427: Paramentos débiles para el venteo de alivio de explosiones	España 1996	Idioma Español Paramentos débiles para el venteo de alivio de explosiones	Google Académico
Way forward in Process Safety Management (PSM) for effective implementation in process industries	España 2016	Idioma Ingles Implementación de la gestión de seguridad con regulaciones OSHA	ScienceDirect
Herramienta para la investigación científica	Cuba 2022	Idioma Español Definiciones de las herramientas digitales para desarrollar un Dashboard	Scielo
Industry 4.0: An innovative manufacturing process on a Digital Twin Application	España 2023	Idioma Ingles Revisión literaria de la cuarta revolución industrial	Google Académico
Directive 94/9/EC of the European Parliament and the Council of 23 March 1994	Bruselas 2020	Idioma Ingles Requisitos mínimos para mejorar la protección de la seguridad y la salud de los trabajadores potencialmente expuestos a riesgos de atmósferas explosivas	Google Académico

2.4. Enfoque, diseño y alcance de los estudios

En relación con los enfoques adoptados por algunos de los artículos que han contribuido a esta revisión sistemática, es crucial señalar que se han incluido investigaciones tanto cuantitativas como cualitativas. Estas investigaciones abarcan diseños experimentales y no experimentales de naturaleza transversal. Al considerar ambas metodologías, se logra una comprensión más integral de la temática en cuestión, permitiendo una evaluación más completa de los aspectos relevantes.

Adicionalmente, cabe resaltar que se ha llevado a cabo una revisión exhaustiva de normativas y guías técnicas. Esta revisión no solo enriquece la fundamentación teórica de la revisión, sino que también servirá como base para la formulación del instrumento de evaluación que se utilizará en el análisis de los estudios seleccionados. La incorporación de estándares y directrices técnicas contribuirá a establecer criterios sólidos y coherentes para la evaluación de la calidad y relevancia de los datos recopilados.

2.5. Diseño del panel de control

La creación de un *dashboard* efectivo en la plataforma de Microsoft Excel implica seguir una metodología estructurada que abarque desde la planificación hasta la implementación (Pérez, 2006). A continuación, se presenta una guía paso a paso:

En la fase inicial, se centra en la definición clara de los objetivos del *dashboard*, identificando la información clave que se busca visualizar y comunicar, así como estableciendo objetivos específicos. La recopilación y organización de datos se abordan con la recolección de información proveniente de diversas fuentes y la estructuración de estos datos de manera limpia y organizada, asegurando su compatibilidad con Excel.

Posteriormente, la fase de diseño se enfoca en la definición de la estructura del panel de control, incluyendo la disposición de elementos visuales y la elección de gráficos y tablas más apropiados para la representación efectiva de la información. La creación de gráficos y tablas se lleva a cabo mediante las funciones gráficas de Excel, aplicando formatos coherentes para garantizar una presentación visual atractiva.

La implementación de funciones dinámicas se destaca por la utilización de tablas y gráficos dinámicos, facilitando la actualización automática de datos y el cálculo en tiempo real. Los controles interactivos se introducen para permitir a los usuarios filtrar y explorar datos de manera personalizada, y la automatización con macros, aunque opcional, puede mejorar la eficiencia del *dashboard* mediante tareas repetitivas.

La fase de pruebas y validación asegura la precisión de los cálculos y la coherencia visual del *dashboard*, respaldando la toma de decisiones informadas. La documentación detallada y las instrucciones proporcionadas contribuyen a la comprensión adecuada de los datos y al uso efectivo del panel de control por parte de los usuarios. Finalmente, la implementación y el plan de mantenimiento garantizan la accesibilidad continua y la actualización periódica de la herramienta para satisfacer las necesidades cambiantes. En conjunto, esta metodología proporciona una guía integral para crear un *dashboard* que no solo cumple con los objetivos establecidos, sino que también se convierte en una herramienta valiosa para la toma de decisiones informadas.

2.6. Estructura del panel de control ATEX

Cuestionario

Se dividió en diecisiete bloques, cada uno de ellos con preguntas asociadas a la clasificación según el área y actividad que se ejecuta, cada bloque establecerá políticas uniformes, procedimientos, aclaraciones estándar y guías de ejecución para hacer cumplir la norma para la gestión de seguridad de procesos de productos químicos altamente peligrosos, 29 Code of Federal Regulations -CFR 1910.119 Process Safety Management (PSM), y enmiendas a la norma para explosivos Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, 1992).

Plan de acción

Guía de implementación que permite controlar los indicadores que son objeto de observación en auditorías. El éxito de sus actividades resulta en una reducción de los accidentes laborales, y una mejora en las condiciones de seguridad y salud en el trabajo, integrando la prevención dentro de la estructura jerárquica de la empresa (INSST, 2019).

Rampa de implementación de seguridad

Se diseñó la herramienta para visualizar la evolución de los indicadores, y evaluar criterios de eficacia periódicamente, con el fin de impactar positivamente la percepción de seguridad del trabajador. Se requiere de personal capacitado para la administración y análisis de los datos, lo que permitirá realizar recomendaciones de cambios o mejoras en aquellos aspectos que no cumplan con las expectativas.

Tabla 2. Plan de acción-cierre de brechas

Fecha	Asunto	Acción	Comentario	Fecha	Responsable	Estado	Inversión
14/11	¿Están las áreas con potencial peligro de atmósfera explosiva por material particulado (AE) incluidos en la evaluación del riesgo de explosión de panta?	Realizar un estudio de clasificación de áreas donde se evidencie el manejo, uso almacenamiento y transporte de material particulado	Empresa que elabora el estudio de clases debe ser certificada con norma FPDA	14/11	soporte de seguridad	en proceso	presupuesto anual
14/11	¿La evaluación de riesgos de cubre los requisitos mínimos?	Cumplir con los mínimos requisitos	Establecer necesidades y buscar la mejor propuesta comercial	14/11	compras	no iniciado	presupuesto anual
14/11	¿Se encuentran los P & ID y PFD de los equipos actualizados?	Realizar actualización de los P & ID de toda el área donde está clasificada como ATEX. Realizar actualización de los PFD del área ATEX		14/11	ingeniería de Procesos	completado	presupuesto anual
14/11	¿Existe una descripción de los sistemas de seguridad en el área?	Realizar un levantamiento del sistema de seguridad que existe en zona ATEX, Crear un archivo de hallazgos para implementar Reemplazar señalética en mal estado		14/11	soporte de Seguridad	en proceso	\$US 100
14/11	¿Existe un procedimiento de disposición del polvo y el producto derramado?	Crear procedimiento de cuando se evidencie un derrame de polvo que hacer, como y donde reportar		14/11	ingeniería de Procesos	en proceso	----
14/11	¿Los camiones que están descargando tienen puesta a tierra durante la carga/descarga?	Informe de capacidad de malla de sistema de aterrizaje en zona de carga y descarga		14/11	ingeniería de Procesos	en proceso	\$US 3500
14/11	¿Se señala todo el equipo en el área con potencial de explosión de polvos EA?	Implementar señalética adicional y creativa		14/11	ingeniería de Procesos	en proceso	\$US 300

Nota. Preguntas consideradas de diferentes normativas de seguridad entre ellas Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Norma Técnica Española, Notas Técnicas Profesionales, Reglamento ATEX 1994.

3. Discusión

3.1. Impacto de accidentes mortales y pérdidas económicas en zonas ATEX y la contribución de un *Dashboard* en la mitigación de riesgos

La gestión deficiente de zonas ATEX puede tener consecuencias graves en términos de accidentes mortales y pérdidas económicas para las organizaciones. La peligrosidad intrínseca de estas áreas, donde la presencia de sustancias inflamables puede desencadenar explosiones, subraya la necesidad urgente de estrategias de gestión efectivas. En esta paráfrasis, se explorará el impacto de los accidentes y las pérdidas económicas en zonas ATEX, así como la contribución esencial de un *Dashboard* en la atenuación de estos riesgos.

Dashboard o Panel de control es una herramienta digital donde se visualizará de manera comprensible la evolución de la adherencia en el pilar de seguridad de las zonas clasificadas como explosivas por polvo, estos muestran información relevante, presentada de una manera que permite hacer un seguimiento de lo que está ocurriendo en un instante de tiempo. (González C., R., 2017; Córdoba, 2021)

Es utilizada en la industria para la detección de una sustancia inflamable en el ambiente y sus concentraciones, el control de temperatura, el control de las condiciones de ventilación, etc., requiriéndose, en la mayoría de las veces, la realización de mediciones o vigilancia de paneles de control. (INSST, 2021)

3.2. Accidentes mortales

Como podemos observar en el artículo Las explosiones de polvo en los silos agrícolas, en Estados Unidos se han producido, en el período 1987-1997, una media de 13 explosiones al año, con un balance de 18 muertos, más de 115 heridos y 77 millones de dólares de pérdidas. La falta de una gestión eficaz en zonas ATEX aumenta considerablemente el riesgo de accidentes mortales. La existencia de atmósferas explosivas ya sea por gases, vapores, nieblas o polvos combustibles, crea un entorno propicio para explosiones que pueden resultar en la pérdida de vidas humanas. La ausencia de monitoreo constante y medidas de control adecuadas incrementa la posibilidad de incidentes catastróficos que afectan directamente a los trabajadores en estas áreas. (Fernández, J., Aguado, P. & Ayuga, F., 2001)

3.3. Pérdidas económicas

Según el artículo Explosiones de polvo – Casos, causas, consecuencias y control, en las plantas agrícolas de Estados Unidos, se han registrado al menos diez incidentes significativos de explosiones de polvo en promedio. En el año 2005, hubo 13 de estas explosiones que resultaron en la pérdida de dos vidas, lesionaron a 11 personas y generaron daños materiales valuados en 56 millones de dólares (Abbasi & Abbasi, 2007). Los accidentes en zonas ATEX no solo tienen implicaciones humanas, sino que también generan pérdidas económicas sustanciales. Las explosiones pueden provocar daños estructurales, la destrucción de equipos y maquinaria, interrupciones en la producción y costos asociados con la reparación y recuperación. Además, las organizaciones pueden enfrentar sanciones legales, multas y pérdida de reputación, lo que se traduce en un impacto financiero a largo plazo. (Fernández, J., Aguado, P. & Ayuga, F., 2001)

3.4. Contribución de un *Dashboard* en la Mitigación de Riesgos

La implementación de un panel de control emerge como una herramienta esencial para mitigar los riesgos en zonas ATEX, reduciendo tanto los accidentes mortales como las pérdidas económicas. Este sistema posibilita el monitoreo en tiempo real de las condiciones, permitiendo respuestas inmediatas ante anomalías, junto con alertas automáticas que brindan notificaciones instantáneas, facilitando respuestas preventivas antes de posibles accidentes. Además, al analizar datos históricos, el *Dashboard* identifica patrones que sirven como indicadores de riesgos futuros, respaldando la toma de decisiones informadas. Facilita la gestión proactiva al señalar áreas de alto riesgo y posibilitar la implementación de medidas correctivas anticipadas, contribuyendo al cumplimiento normativo y evitando sanciones. Además, puede desempeñar un papel educativo, proporcionando información en tiempo real y alertas para concientizar a los trabajadores sobre prácticas seguras en zonas ATEX (Valle, 1995).

CONCLUSIONES

En este artículo, se ha llevado a cabo una revisión exhaustiva que abarca desde los conceptos básicos hasta la normativa, clasificación, evaluación y prevención de los riesgos asociados a las atmósferas explosivas por polvo combustible en entornos laborales. El análisis detallado del estado actual de la ciencia y la tecnología revela que las atmósferas explosivas constituyen un fenómeno complejo y dinámico que demanda una gestión integral y multidisciplinaria. Esta gestión debe fundamentarse en el conocimiento científico y técnico, la implementación de medidas preventivas y de protección, así como en la formación y sensibilización de los trabajadores.

La prevención de las áreas con atmósferas explosivas emerge como un factor crucial para garantizar la seguridad y salud de los colaboradores, al tiempo que se destaca la importancia de mitigar las pérdidas económicas derivadas de posibles daños en equipos, infraestructuras e incluso repercusiones en la comunidad, lo que podría afectar la reputación de la organización.

Como perspectiva para futuras investigaciones, se propone orientar los esfuerzos hacia el desarrollo de nuevos métodos de detección, control y extinción de las atmósferas explosivas. Además, se sugiere evaluar la eficacia y confiabilidad de los métodos existentes. La difusión y el intercambio de buenas prácticas, experiencias y lecciones aprendidas entre diferentes sectores y países se plantea como una estrategia para abordar de manera colaborativa este desafío compartido. Este enfoque colaborativo podría impulsar avances significativos en la gestión integral de riesgos asociados a las atmósferas explosivas en distintos contextos industriales y geográficos.

Declaración de conflictos de intereses

El autor o los autores declararon la ausencia de posibles conflictos de interés en esta investigación, autoría y/o publicación de este artículo.

REFERENCIAS

- Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2007). Dust explosions-Cases, causes, consequences, and control. *Journal of Hazardous Material*, 140(1-2), 7–44. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.11.007>
- Caro, & Carvajal. (2022). *Guía técnica para la elaboración de planes de mitigación y prevención de incendios y/o explosiones ocasionadas por el inadecuado manejo de polvos combustibles en entornos industriales* [Trabajo de especialización]. Universidad Antonio Nariño. Bogotá, Colombia. Disponible en: http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/7382/2/2023_EvaDanielaCaro.pdf
- CEPYME. (2018). *Atmósferas explosivas en centros de trabajo*. <https://prevencion.umh.es/files/2018/07/Aplicacion-ATEX-soldaduras-1.pdf>
- Córdova, Martínez, & Córdova. (2021). Propuesta de metodología para el diseño de Dashboard. *Revista Cubana de Transformación Digital*, 3(2), 56–76. <https://rctd.uic.cu/rctd/article/view/141>
- Díaz, F. (2006). *Análisis de consecuencias y zonas de planificación para explosiones industriales accidentales*. [Trabajo de tesis doctoral]. Universidad de Murcia. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10935/DiazAlonso.pdf?sequence=1>
- Fajardo, López, Sánchez, Tutiven, & Pillajo. (2023). Industry 4.0: An innovative manufacturing process on a Digital Twin Application. *EASI: Ingeniería y Ciencias Aplicadas en la Industria*, 2(1), 1–10. <https://doi.org/10.53591/easi.v2i1.2176>
- Fernández, J., Aguado, P. & Ayuga, F. (2001). Las explosiones de polvo en los silos agrícolas. *Fundación MAPFRE*. http://www.bomberoscajeme.mx/boletines/explosiones_de_polvo_en_silos.pdf
- Fernández-Villavicencio, N. G., Menéndez Novoa, J. L., García, C. S., & Millán Fernández, M. E. S. (2013). Revisión y propuesta de indicadores (KPI) de la biblioteca en los medios sociales. *Revista Española de Documentación Científica*, 36(1). <https://doi.org/10.3989/redc.2013.1.919>
- Gómez, & Amalthea. (2015). *Mantenimiento en zonas con potencial presencia de atmósferas explosivas*. www.industriaquimica.es
- González Castro, R. (2017). La implementación de los sistemas de control de gestión en las empresas de nueva creación: Una revisión de la literatura. *Contabilidad Y Negocios*, 12(23), 78-95. Recuperado a partir de <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/contabilidadyNegocios/article/view/19352>
- Hernández, M. (2016). Sistemas de control de gestión y de medición del desempeño_ conceptos básicos como marco para la investigación. *Ciencia y Sociedad*, 42, 111–124. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7397953>

- INSST. (2019). *Plan de acción 2019-2020. Estrategia Española de Seguridad y Salud en el Trabajo 2015-2020*. <http://www.insst.es/catalogopublicaciones/>
- INSST. (2021). *Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo*. <http://cpage.mpr.gob.es>
- OSHA. (1992). *OSHA CPL 2-2.45A CH-1*. www.onlinedoctranslator.com
- Pérez (2006). Herramienta para la investigación científica. *MEDI SUR*, 4(3), 68–71. <https://www.redalyc.org/pdf/1800/180019873015.pdf>
- Valle (1995). *NTP 396: Deflagraciones producidas por gases, vapores y polvos combustibles: sistemas de protección*. https://www.insst.es/documents/94886/326827/ntp_396.pdf/6674509a-1be3-498d-b948-f6808323b251
- Vega (2008). *Herramientas gerenciales para toma de decisiones* (Universitaria, Ed.; 1a ed.). <https://www.researchgate.net/publication/343712013>
- Zalosh, R. (2019). Dust explosions: Regulations, standards, and guidelines. In P. R. Amyotte & F. I. Khan (Eds.), *Methods in Chemical Process Safety*, 3, 229-282. <https://doi.org/10.1016/bs.mcps.2019.03.003>
- Zavala, S., & Alfaro-Mantilla, J. (2011). ÉTICA E INVESTIGACIÓN. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*, 28(4). http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342011000400015&lng=es&nrm=iso