

## **Gestión de riesgos en atmósferas explosivas para la reducción de accidentes en una planta minera**

### **Risk management in explosive atmospheres to reduce accidents in a mining plant**

---

**Para citar este trabajo:**

Trujillo, J., (2024) Gestión de riesgos en atmósferas explosivas para la reducción de accidentes en una planta minera. *Reincisol*, 3(6), pp. 1818-1832. [https://doi.org/10.59282/reincisol.V3\(6\)1818-1832](https://doi.org/10.59282/reincisol.V3(6)1818-1832)

---

#### **Autor:**

**José Luis Trujillo Huamán**

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Ciudad: Lima, País: Perú

Correo Institucional: [joseluis.trujillo@unmsm.edu.pe](mailto:joseluis.trujillo@unmsm.edu.pe)

Orcid <https://orcid.org/0009-0003-1482-7475>

**RECIBIDO:** 9 junio 2024    **ACEPTADO:** 26 julio 2024    **PUBLICADO** 21 agosto 2024

## Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo realizar la gestión de riesgos en atmósferas explosivas para reducir los accidentes en la planta minera de Nexa Cajamarquilla, durante los años 2021 – 2022. El tipo de estudio fue explicativo, descriptivo y diseño no experimental; la muestra estuvo conformada por cuarenta trabajadores de la empresa, entre supervisores y operadores, quienes tienen relación directa con el acceso a 4 tanques de que producen hidrogeno, en el proceso de purificación fría en el área de hidrometalurgia. La técnica utilizada para recolectar los datos fue de observación utilizando para ello como instrumento como una lista de comprobación para obtener datos históricos de construcción, operación y mantenimiento de los equipos. Conclusión, durante los años previos al 2018 ocurrieron más 80 accidentes relacionados a atmósferas explosivas, incrementándose éstos a 43 accidentes entre los años 2018 al 2020, no obstante, luego de implementar la adecuada gestión de riesgos en atmósferas explosivas se generaron 20 accidentes entre los años 2021 y 2022 reduciéndose así en más del 50 % en relación con los últimos años. Estos datos nos permiten afirmar que la gestión de riesgos en atmósferas explosivas reduce los accidentes.

**Palabras claves:** Atmósferas explosivas; gestión de riesgos; accidentes; prevención; seguridad.

### Abstract

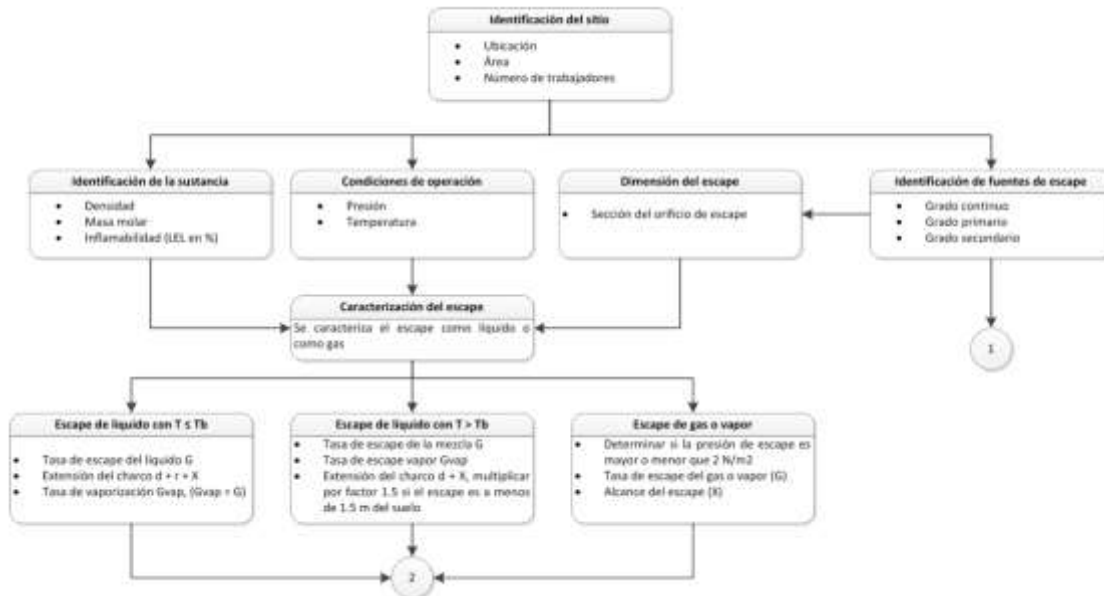
The objective of this research was to carry out risk management in explosive atmospheres to reduce accidents at the Nexa Cajamarquilla mining plant, during the years 2021 - 2022. The type of study was explanatory, descriptive and non-experimental in design; The sample was made up of forty company workers, including supervisors and operators, who have a direct relationship with access to 4 tanks that produce hydrogen, in the cold purification process in the hydrometallurgy area. The technique used to collect the data was observation, using a checklist as an instrument to obtain historical data on the construction, operation and maintenance of the equipment. Conclusion, during the years prior to 2018, more than 80 accidents related to explosive atmospheres occurred, increasing these to 43 accidents between 2018 and 2020. However, after implementing adequate risk management in explosive atmospheres, 20 accidents were generated between the years 2021 and 2022, thus reducing by more than 50% compared to recent years. These data allow us to affirm that risk management in explosive atmospheres reduces accidents.

**Keywords:** Explosive atmospheres; risk management; accidents; prevention.

## INTRODUCCIÓN

Los procesos mineros, especialmente en plantas metalúrgicas, no siempre son controlados o desarrollados de la mejor manera, siempre surgen hechos que son imprevistos. El manejo de explosivos o en atmósferas explosivas es uno de los componentes más delicados y de mayor importancia. Sobre la importancia de la implementación de lineamientos mínimos según la normativa nacional e internacional, se ha podido corroborar el establecimiento de requisitos, políticas, auditorías, recomendaciones de seguridad y salud en el trabajo y una serie de medidas de control para todo hecho de riesgo, especialmente el de las Atmósferas explosivas, han contribuido al control efectivo de la atmósferas explosivas, coincidiendo con la manifestado por Arratea Carlos (2018), quien precisa principalmente de que la gestión de riesgos en ATEX y el análisis documentario sobre las circunstancias en varias ubicaciones para poder determinar los riesgos y sus consecuencias, permiten determinar la forma segura, considerando que se debe tener en cuenta que deben revisarse los protocolos y procedimientos en función a los espacios seguros, estableciendo lo normado para minimizar los incidentes en espacios confinados, permitiendo bajo el criterio “realizar trabajos en espacios confinados obliga a todos a pensar en la seguridad”, desarrollar una orientación para reducir los accidentes en espacios limitados en la industria minera, a través de identificar espacios confinados en los ambientes laborales. Estudios como el de Galabay (2015) revelan que la gestión de riesgos de explosiones en un área de tratamiento de crudo resulta crítica, porque no solo es la reacción, sino la combustión propia de esos lugares. Este mismo autor, nos muestra el flujo a seguir para evaluación de riesgo en ATEX:

Figura 1: Modelo para la evaluación de riesgo de explosión



Fuente: Galabay (2015)

Caicedo (2015) al respecto de la exposición de los trabajadores a atmósferas explosivas y mediante la encuesta y la entrevista y el estudio comprobó el desconocimiento de los trabajadores sobre las sustancias que resultaban un riesgo. Ramos (2017), en su estudio sobre la seguridad para prevenir, proteger, mitigar y controlar las explosiones en el ambiente de trabajo, debido al riesgo que el polvo de cereal es un combustible y los trabajadores no conocían ese riesgo. Morillo (2015), en su estudio de control de riesgos en minería subterránea, empleando equipos sofisticados, pudo determinar que los gases estaban en los estándares considerando el sistema de ventilación y la seguridad de la detonación. Arratea (2018), que en su estudio identificaba los espacios confinados para la prevención de riesgos, aplicando la observación y el análisis documental para poder orientar a los procedimientos seguros. Velásquez (2015) que no solo buscaba el control de los riesgos de explosiones, sino además apreciar la toxicidad de estos.

Así mismo, Caicedo Cárdenas (2015) obtuvo la siguiente conclusión: “En cuanto a la gestión de riesgos y sus los resultados se encontró que la mayoría de sustancia químicas utilizadas son inflamables y que la población desconoce que estas sustancias mezcladas con el aire son muy peligrosas. Por otro lado, existe

desconocimiento sobre la acumulación de polvo en su trabajo y que estos pueden generar explosiones”.

Adicionalmente, evaluaciones como la de **Amir Ehsan Kianfar, Mrityuniava Sherikar, André Gilerson, Marcín Skora, Krzysztof Stankiewicz, Rudrajit Mitra y Elizabeth Clause (2022)**, manifiestan que, en caso de falla del sistema de ventilación, un sistema de monitoreo de gas podría detectar la acumulación de gases peligrosos y advertir a los operadores de la mina, permitiéndoles reaccionar ante la situación antes de que ocurra cualquier incidente. Por su parte, **Adriana Andris y Sorian Burian (2024)**, mencionan en su estudio que: dependiendo del tipo de sustancia combustible / inflamable presente en la atmósfera de estudio, las atmósferas explosivas se han clasificado por zonas, esta zonificación junto con la agrupación de gases, vapores y polvos y su temperatura de ignición, es un criterio importante para la selección de equipos eléctricos, también menciona que la protección contra explosiones de equipos e instalaciones a ser utilizados para atmósferas potencialmente explosivas están influenciadas por 3 factores, a saber,

- A) Actividades de diseño, montaje y puesta en marcha
- B) Actividades de uso, operación, inspección y mantenimiento, y
- C) Factores ambientales como humedad, rango de temperatura, presencia de sustancias corrosivas y presencia de polvo.

Jianwei Cheng, Wenhe Wang, Yi Qin, Zui Wang, Marek Borowski, Yue Wang y Purushotham Tukkaraja (2021), dicen en su estudio que el monitoreo automático en tiempo real de la concentración de gas y la fuente de incendio es crucial para prevenir la explosión del gas, también en el estudio, recomiendan usar por lo menos dos métodos para controlar la explosión de gas, además, la combinación de medidas preventivas puede reducir eficazmente los riesgos. Así mismo estos autores manifiestan que para efectivizar una adecuada gestión de riesgos en ATEX, la explosión de gas debe tener tres condiciones al mismo tiempo:

- A cierta concentración, el gas explotará en un cierto rango de concentración, el límite de explosión de un gas como el metano generalmente se establece entre 5% y 15% en ingeniería práctica. Sin embargo, en algunos casos especiales, debido a la presencia de otros gases

combustibles, la mezcla de polvo de carbón, la participación de gas inerte y la temperatura y presión iniciales del gas mezclado, el límite del límite de explosión del gas no es constante.

- Suficiente concentración de oxígeno; si no hay suficiente contenido de oxígeno, no se producirá una explosión de gas. El límite de explosión del gas disminuye con la reducción de la concentración de oxígeno en el aire. Cuando la concentración de oxígeno en el aire se diluye, el límite superior de explosión disminuirá claramente. En ingeniería práctica, cuando la concentración de oxígeno en el aire es superior al 12%, el gas explotará debido al suficiente contenido de oxígeno.
- La temperatura de ignición de una determinada fuente de ignición es la temperatura más baja necesaria para encender el gas. Y la energía de ignición del gas es la energía más baja necesaria para encender el gas. En ingeniería práctica, la temperatura de ignición del gas en el aire es de 637 °C a 750 °C, y el valor mínimo de la energía de ignición del gas es 0,28 mJ.

Fabián M., Hugo R., Jorge E., y Eduardo A. (2023), sostienen que un plan de gestión de riesgos a largo plazo debe incluir:

- El método de explotación.
- El diseño de las actividades de los mineros como uso de explosivos, carga y transporte, soporte, ventilación, electrificación, sistema de drenaje, botaderos y sistemas de seguridad y salud en el trabajo.
- Diseño de la mina, planos de ventilación, drenaje y diseños de voladuras y perforaciones.
- Maquinaria y equipamiento.
- Personal requerido.
- Cronograma.
- Evaluación financiera del proyecto.

En relación a la gestión de riesgos en atmósferas explosivas podemos indicar que la oportuna identificación de materiales y sustancia explosivas, la adecuada clasificación y el permanente seguimiento de los requisitos establecidos, nos permitirán asegurar la minimización de indicadores de frecuencia y severidad en términos de accidentes e incidentes, lo que está reflejado en la investigación de

Nicolás Guevara (2019), que nos indica como parte de la implementación de un modelo de gestión completo: con la apertura adecuada de labores subterráneas en zonas aparentes, la conservación y uso adecuado de explosivos e implementos de seguridad, con el control y la minimización de material particulado, la comercialización de carbón de manera adecuada y el control rígido de mineral se logrará, establecer una extracción minera sostenible y responsable. Por otro lado, NFPA 497 (2021), nos dice: Un enfoque importante de la gestión de riesgos para evaluar el alcance y tratamiento de atmósferas explosivas es a través de un sistema de control, usando inclusive software.

Finalmente, en la operación de Nexa Cajamarquilla que tiene por fin la ampliación de sus procesos y el montaje de nuevos tanques de proceso en los siguientes años, es evidente que debemos, no solo capacitar y entrenar al personal, sino también pensar en que nuestras labores deben ser productivas y rentables.

Luego de un análisis minucioso en las áreas de trabajo se ha determinado oportunidades de mejora para incrementar la gestión de riesgos en atmósferas explosivas en:

- Identificación de los materiales, sustancias y sus densidades de vapor que están manipulando o que forman parte del proceso.
- El tamaño de una instalación y su diseño que influyan considerablemente en la clasificación del volumen.
- Clasificación del área, según información del ítem 1 y 2, para: División 1 a Clase I División 2, o de Clase I, División 2 a no clasificados, o de Zona 1 a Zona 2, o de Zona 2 a sin clasificar, según experiencia.
- Volumen de material inflamable o combustible liberado con el fin de determinar el alcance de un riesgo.
- Controles de ingeniería en tanques del proceso que existen actualmente.
- Procesos, procedimientos e instructivos que existen actualmente para el control de riesgo (control administrativo) – Percepción del riesgo.

Estas oportunidades de mejora tienen el potencial de seguir generando accidentes hasta fatales, viéndose incrementada en términos de índice de frecuencia y severidad que se aprecian en los resultados registrados con respecto a la accidentabilidad.



Es un estudio mixto, ya que es de carácter bibliográfico y aplicada, para el primer caso analizaron tesis y artículos científicos relacionados a la gestión y control de riesgos en atmósferas explosivas que tenían como fin reducir los accidentes y para ello se utilizó como técnica la recolección de datos bibliográficos. Para el aspecto aplicado se ha analizado la percepción de los trabajadores.

El diseño fue no experimental empleado porque es la explicación del cómo se hizo la investigación y cuáles fueron los resultados, se considera el diseño del estudio, los instrumentos empleados y el procedimiento o tareas para la recolección de datos.

La población y muestra fueron 40 trabajadores de la Planta minera, observando ello en el entorno al que estaban expuestos; siendo la técnica de recolección de datos la observación y como instrumento la encuesta que estuvo complementada con fichas y cuestionario. La unidad de análisis son los trabajadores ya que con su información se determinó acciones de control de riesgos de atmósferas explosivas y registro de incidentes y accidentes.

Luego se procedió a observar las condiciones del entorno con respecto a los tanques y los equipos expuestos o proclives a producir o generar explosiones, esta observación se aprecia en los resultados, pero además se presentan los resultados de la encuesta antes y después de aplicar el modelo para tomar en consideración si ello ha implicado una mejora o no en la seguridad.

Para el análisis y procesamiento de los datos, se utilizaron métodos estadísticos, los que generaron: medidas de frecuencia simple y porcentuales, los cuales terminaron en: cuadros de doble entrada. Para el caso del análisis e interpretación

de la información se trabajaron con tablas interpretativas y procedimientos, decidiendo por la comparación y la determinación en función a los hechos.

## RESULTADOS

### 1.1. Condiciones de riesgo.

Tabla 1: Accidentes reportados por años.

Área	2018	%	2019	%	2020	%
Almacén	1	12.96	2	5.13	3	13.51
Procesos	13	64.81	12	69.23	18	48.65
Molienda	7	9.26	9	7.69	8	16.22
Talleres	7	12.96	5	17.95	4	21.62
Sumatoria	28	100.00	28	100.00	33	100.00

Fuente: Reporte de la empresa

Así mismo, se han identificado como causas de los accidentes en atmósferas explosivas lo siguiente:

Tabla 2: Identificación de peligros

Peligro
Presencia de objetos / equipos en zona de riesgo
Uso de artefactos eléctricos/ electrónicos cerca de la atmósfera explosiva
Operaciones con máquinas de soldadura
Operaciones con máquinas de tableros eléctricos
Uso de balón de gas
Situaciones de ignición o combustión

Fuente: Matriz de IPERC – Empresa Nexa Resources Cajamarquilla

Además, se han identificado algunos controles actuales como:

Tabla 3: Medidas de control

Medidas de control existente
Auditorías de 5s
Check list de dispositivos de seguridad.
Inducción
Personal autorizado y capacitado.
Recomendaciones de seguridad y salud
Reglamento de SST
Señalética / Señalización

Fuente: Matriz de IPERC – Empresa Nexa Resources Cajamarquilla

Finalmente, se ha realizado una encuesta que permite ver la percepción de los trabajadores con respecto a la seguridad y salud de la empresa:

Tabla 4: Percepción sobre Seguridad y Salud Ocupacional

Respuesta	Antes 2020	
	fi	pi
Muy seguro	1	2.50
Seguro	1	2.50
Casi Seguro	2	5.00
Algo Seguro	12	30.00
Nada Seguro	24	60.00
Sumatoria	40	100.00

Fuente: Encuesta aplicada

## DISCUSIÓN

Resultados para el modelo

En relación con la reducción a los accidentes debido a las atmosferas explosivas: Rela Guillermo (2014) confirma: El control del proceso de explosión del tanque se da a través de un modelo de gestión de alta confiabilidad.

Por su parte, Efraín Gonzales, Pablo Loayza, Ana More y Victor Simeón (2019): Se recomienda que para una gestión de riesgos eficaz exista un marco regulatorio y normativo que fomente y brinde los incentivos necesarios para ello, así como

también, una diversificación de la matriz energética en el sector minero como punto de partida para la transición energética que impulse la puesta en valor del gas natural principalmente en los sectores industrial y de transporte.

En relación con los resultados generados para responder al objetivo planteado, tenemos que:

Morillo Macas (2015) indica que para el caso específico de atmósferas explosivas, los gases deben estar bajo control de sistemas de ventilación para que permitan que éstos mitiguen la concentración de gases, que no solo intoxican sino que pueden generar deflagraciones, luego de la detonación para ingresar de modo seguro a la planta, para las condiciones del control de riesgos de las atmósferas explosivas en la planta minera, indican que la probabilidad de accidentes en estos casos es muy alto o recurrente, al igual que el estudio se ha planteado en la matriz respectiva la severidad y riesgo de los hechos. El uso de artefactos eléctricos y electrónicos cerca de atmósferas explosivas, uso de balón de gas y situaciones de ignición o combustión, deben estar precedidas de algún sistema de ventilación que mitigue la acumulación de gases inflamables. Aspectos que se ajusta muy bien a las identificadas por Ramos Melina (2017), que concluye en que instalaciones donde se tiene almacenado polvo combustible se deben considerar seguros y encapsulados evitando una excesiva clasificación de zonas seguras, de esta forma el control sea más seguro y menos costos, sobre todo considerando que las concentraciones muy elevadas provocarían riesgos mayores, además de que se pueden generar turbulencias y acumulaciones locales, sin embargo, para Velásquez Iparraguirre (2015), los gases que se producen en la voladura son tóxicos y pueden generar hasta la muerte, además ha precisado que cada tipo de explosivo o agente de voladura tiene diferentes características de desempeño, por lo que su manejo es con todas las precauciones.

### **CONCLUSIÓN**

A partir de estudios anteriores y la situación presentada en la refinería de Nexa Cajamarquilla, se concluyó que en los últimos 40 años de existencia de la planta minera han existido muchos accidentes producto de atmósferas explosivas en los tanques que producen hidrogeno, luego de la revisión bibliográfica de artículos y tesis que han demostrado que la estadística de accidentabilidad se ha reducido cuando se aplica e implementa un sistema de gestión de riesgos, lo que nos lleva a

decir que lo ya estudiado por anteriores autores guarda estrecha relación con los indicadores que muestra la empresa Nexa Cajamarquilla en los años 2021 y 2022. Si bien es cierto los accidentes aun persisten, sin embargo, se cuentan con planes de acción que ayudarán a mitigar y hasta reducir hasta su mínima expresión los eventos con un adecuado seguimiento y aplicación del ciclo PHVA.

A partir de este estudio, la aplicación e implementación de las principales medidas de control para reducir los accidentes en una planta minera se vienen impartiendo desde la concepción de proyectos hasta la operación y mantenimiento de los equipos lo que ha permitido que se ejerza mejor control frente a posibles eventualidades no deseadas.

Paralelamente, se han introducido en el proceso de gestión de cambios de la compañía, la verificación de estos nuevos controles antes de iniciar la construcción e instalación de nuevos equipos e instalaciones, además de haberse introducido en el sistema de gestión de verificación e inspecciones esta nueva rutina para, no solo comprobar la existencia actual de dichos controles, sino también la verificación de la eficacia de los mismos, lo que ha conllevado a que el índice de accidentes en la planta se reduzcan, como se aprecia en la tabla 1.

Tabla 5: Accidentes reportados por años.

Área	2018	2019	2020	2021	2022					
Almacén	2.96	.13	3.51	0.42	.69					
Procesos	3	4.81	2	9.23	8	8.65	4	7.50	3.85	
Molienda	.26	.69	6.22	5.00	9.23					
Talleres	2.96	7.95	1.62	2	7.08	9.23				
Sumatori a	8	00.00	8	00.00	3	00.00	4	00.00	8	00.00

Fuente: Reporte de la empresa

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Jorge, G. (2015) Evaluación del riesgo debido a una atmósfera explosiva en el área de tanques de proceso de una planta de tratamiento de crudo en el oriente ecuatoriano, Ecuador.
- Martha, C. (2015) Determinantes de riesgo físico de niveles de exposición de atmósferas explosivas en los trabajadores del área de desnaturalización en el centro de distribución Cayambe año 2014, Ecuador.
- Carlos, R. (2014) Mejora de procesos exotérmicos en reactores discontinuos utilizando DMC basado en modelos, Argentina.
- Edgar, M. (2015) Plan de control de riesgos por la presencia de gases en el proceso de voladura en minería subterránea de la minera somilor s.a., Ecuador.
- Joe, V. (2015) Estudio descriptivo de optimización de los agentes de voladura para controlar y/o mitigar los gases tóxicos generados al ser detonados, Perú.
- Juan, A. (2018) Identificación de espacios confinados en ambientes laborales para la prevención de riesgos en la Empresa PTS S.A. U.E.A., Perú.
- Guillermo, R (2014) Accidentes no resueltos en tanques de almacenamiento de combustible: Metodología de resolución mediante modelación matemática, Uruguay.
- Efraín G. Pablo L. Ana M. Victor S. (2019) Propuesta de utilización del Gas Natural Licuefactivo en los camiones mineros – Evaluación de beneficios, Perú.
- Nicolás G. (2019) Elementos de contaminación ambiental en la extracción informal de carbón y alternativas de extracción sostenible, Perú.
- Jianwei C., Wenhe W., Yi Q., Zui W., Marek B., Yue W., Purushotham T., (2021) Accidentes por explosión de gas en mina subterránea y técnicas de prevención: una descripción general, China.
- Amir K., Mrityunjaya S., Andre G., Marcin S., Krzysztof S., Rudrajit M. y Elisabeth C. (2022) Diseño de un sistema de monitoreo para observar los innovadores sistemas de transmisión de energía inalámbricos y de un solo cable en áreas explosivas de minas subterráneas, Alemania.
- Adrina A. y Sorin B. (2024) Dinámica del proceso de normalización de atmósferas explosivas, Rumania.

NFPA 497 (2021). Práctica recomendada para la clasificación de inflamables Líquidos, Gases o Vapores y de Lugares peligrosos (clasificados) para Instalaciones Eléctricas en Áreas de procesos químicos, USA

**Conflicto de intereses**

El autor indica que esta investigación no tiene conflicto de intereses y, por tanto, acepta las normativas de la publicación en esta revista.

**Con certificación de:**

