

Aumento en la efectividad de ventilación en interior mina mediante comparación de estándares.

Núñez - Cabral, J. C ¹; Carrera - Barraza, M. J ²; Valdez - Diaz, J. M ²; Pinales - Valdez, E G ²; Carrera - Barraza, B ³

Datos de Adscripción:

¹ Ingeniería y Control Industrial: Ferrocarril Internacional Mexicano No. Ext 1757 A, Rincón la merced, Torreón Coahuila México C.P. 27269

² Tecnológico Nacional de México: campus Instituto Tecnológico Superior de Lerdo: Av. Tecnológico N° 1555 . Periférico Lerdo Km. 14.5, Placido Domingo Cd Lerdo, Dgo, México. C.P.35150

³ Tecnológico Nacional de México: campus Instituto Tecnológico de Torreón, Carretera. Torreón-San Pedro km 7.5, Ejido Ana. Torreón, Coahuila México C.P. 27170

Resumen - Uno de los retos principales que se tiene en la operación de las minas subterráneas es lograr una ventilación adecuada para salvaguardar la salud del personal y operatividad de los equipos, los cuales están en riesgo a causa de la alta concentración de gases generados por detonaciones con explosivos, gases productos de los propios metales encontrados, el calor que producen la utilización de equipos diésel, así como el consumo humano.

En base a lo anterior se llevó a cabo el presente trabajo, el cual tiene como finalidad aumentar la ventilación en interior mina que abarca dos cuerpos de explotación, el proyecto consistió en evaluar las condiciones actuales del circuito de ventilación en base al cumplimiento de lo señalado en la norma Mexicana, para posteriormente compararlo específicamente con norma Chilena y proponer alternativas de mejora en los sistemas de ventilación con ayuda de simuladores, logrando mejorar el flujo y calidad del aire limpio, para garantizar la salud del personal, así como cumplir con las obligaciones de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, NOM-023- STPS-2012 Minas subterráneas y minas a cielo abierto. Con lo anterior se ayuda a reducir los riesgos y condiciones inseguras, aumentando la productividad del personal operativo.

Palabras Clave: Interior mina, Productividad, Salud, Ventilación.

Abstract - Increase ventilation effectiveness inside mine.

One of the main challenges in underground mining operations is to have adequate ventilation to preserve personnel health and correct equipment operation which are in risk die high concentration of gasses created during explosive detonations, fumes from metal themselves, heat generated by operating diesel equipment and human breathing.

This evaluation was done based on above information and has the objective of increasing ventilation inside the mine with two different exploitation bodies, this project evaluated current conditions of ventilation circuit based on compliance with what is indicated in the Mexican standard, and then compare it specifically with the Chilean standard and propose alternatives to work on ventilation systems using

simulators to improve clean air flow and quality to guarantee personnel health and meet Secretaría del Trabajo y Prevención Social obligations NOM-023-STPS-2012 underground and open air mining. These improvements reduce risks and increase safety conditions and personnel productivity.

Keywords: Health, Inside mine, Productivity, Ventilation.

I. INTRODUCCIÓN

El derecho a un trabajo seguro es un aspecto fundamental de los derechos laborales y se refiere al derecho que tienen las personas a realizar sus labores en un entorno de trabajo que garantiza su integridad física y mental, protegiéndolas de cualquier riesgo o peligro que pueda dañar su salud o seguridad. Este derecho está reconocido por diversas leyes y normativas laborales en muchos países, y tiene como objetivo principal proteger a los trabajadores de accidentes, enfermedades profesionales y otros riesgos laborales.

En lo particular en el caso de México dicho derecho se encuentra declarado en el artículo 123 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, el cual establece los derechos laborales de los trabajadores en general. (Cámara de diputados, 2023, pág.135), y que, al ser la cima de la pirámide de Kelsen, garantiza el cumplimiento todas las demás leyes, normas y disposiciones, que emanan de ella en relación a la seguridad en el trabajo. (Concepto, 2020, párr. 2)

La seguridad laboral de los trabajadores es un aspecto abordado también por organismos internacionales, como es el caso la Organización Mundial de la Salud (OMS) que afirma que en promedio se pasa del 80 al 90% en espacios cerrados durante una jornada de trabajo, por lo que de la calidad de su ambiente interior depende en gran medida el bienestar y el confort de las personas. (Redacción Médica, 2018, pág. 18), lo anterior es retomado en la publicación de la guía de calidad del aire interior, de la comunidad española.

Al hablar de minas subterráneas, el porcentaje anteriormente mencionado se cubre y muchas veces se sobrepasa, por lo es inevitable tener en la mente que un aspecto crítico en relación con un ambiente seguro y de confort en el trabajo, es la ventilación o también llamada en el argot, ventilación de interior mina, lo que es fácilmente descifrable, por la relación entre la calidad del aire y el bienestar del trabajador, o cualquier ser vivo, según las Naciones Unidas, el aire limpio es importante para la salud y la vida cotidiana de las personas, siendo la contaminación atmosférica el mayor riesgo ambiental para la salud humana y una de las principales causas de muerte y enfermedad en todo el mundo. (NACIONES UNIDAS, 2020, párr. 9)

En un ambiente de trabajo con una incorrecta ventilación, existen principalmente dos tipos de riesgos en relación a la misma, los cuales corresponden a factores biológicos que pueden provenir de diversas fuentes como lo son las bacterias, virus, hongos, parásitos, moho, levaduras, ácaros, esporas y otros microorganismos y factores químicos, entendiéndose por estos aquellos elementos o situaciones relacionadas con la presencia de sustancias químicas que pueden tener efectos nocivos sobre la salud de los trabajadores en un entorno industrial y que pueden provenir de varias fuentes y como lo son los gases tóxicos, compuestos orgánicos, elementos volátiles, humos, olores.

Dentro de los elementos que se debe de cubrir con una ventilación adecuada son:

- Cumplir con un porcentaje mínimo de oxígeno
- Tener la capacidad de diluir los gases tóxicos, hasta un nivel inferior al marcado por la normativa aplicable.
- Climatización del área. (El Blog de la ventilación eficiente, 2021, párr. 4)

La importancia del cuidado del aire en un centro de trabajo, se incrementa cuando se trata de una mina subterránea, la cual es conceptualizada como un espacio confinado, lo anterior de acuerdo a la definición declarada en la Norma Oficial Mexicana NOM-033-STPS-2015, Condiciones de seguridad para realizar trabajos en espacios confinados, que lo define como un lugar sin ventilación natural, o con ventilación natural deficiente, en el que una o más personas puedan desempeñar una determinada tarea en su interior, con medios limitados o restringidos para su acceso o salida, que no está diseñado para ser ocupado en forma continua. (DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION, 2015, pág. 12)

En la actualidad se pudiera pensar que con los adelantos tecnológicos la ventilación en mina, no es factor de riesgo, sin embargo, los índices de accidentes por intoxicación de gases en minería subterránea siguen siendo muy elevados por la exposición a polvo y temperaturas extremas presentándose accidentes letales. (Llancho Alhuirca & Vargas Castro, 2020, pág. 25)

En el interior de la mina, se trabaja con equipos cuyo combustible es el diésel, estos equipos son con los que se ejecutan las diversas actividades relacionadas con la obtención de los minerales, tales como extracciones, barrenaciones y anclajes, las actividades antes mencionadas generan una gran concentración de contaminación, que, sumada a la combustión humana, el calor presente en la mina y la ausencia de la corriente del aire, pueden dar origen a condiciones no adecuadas para realizar el trabajo, existiendo posibilidades de que se generen condiciones inseguras y por consiguiente actos inseguros derivados del aire viciado.

El presente estudio se ejecutó en una mina efectuando mediciones del flujo de aire actual, para posteriormente hacer uso del simulador Ventsim, logrando identificar los espacios en donde se requería hacer modificaciones para conseguir un mayor flujo de la corriente del aire, y dar solución a la problemática acerca de la incertidumbre de contar y mantener la calidad de

aire necesaria para la salud de los trabajadores diluyendo contaminantes a niveles seguros. sin dejar de lado la operatividad de la mina, lo anteriormente señalado se realizó en dos cuerpos de exploración.

En ambos cuerpos de exploración se cuenta con gran variedad de equipos diésel destinados a realizar tareas de extracción de mineral, barrenación y anclaje, realizándose actividades de como accesos, rampas, rebajes, cueles, contra-pozos entre otros estos para encontrar la mejor forma de llegar hasta donde se encuentra el mineral, comunicación de niveles o realizar contra-pozos de ventilación en interior-mina.

El método de extracción del mineral se lleva mediante acarreo con equipos Diésel hasta superficie, siendo el lugar de vaciado el patio o la parrilla, de ambos cuerpos deben extraerse diariamente aproximadamente 5,000 Toneladas de mineral para el Stock Pile.

En interior mina la concentración de gases es originado por las detonaciones con explosivos, gases generados por metales en estado natural, manejo de equipos diésel y el consumo humano, por eso es que al no ser suficiente la ventilación natural, que consiste en el movimiento de masas de aire producto de diferencias de temperaturas entre las labores y la superficie es necesario recurrir a la ventilación mecánica es decir, ventilación auxiliar o secundaria y son aquellos sistemas que hacen uso de ductos y ventiladores auxiliares. (Quispe Caceres, 2020, Resumen)

La atmósfera de la mina es una composición muy específica y va en relación con dos variables, para desarrollar el trabajo con seguridad, salud y que se obtengan altos rendimientos de los trabajadores, dichas variables son la temperatura y grado de humedad. (Revista seguridad minera, 2020, párr. 6), las cuales intervienen en la difusión de los gases y principalmente en la concentración del oxígeno, elemento esencial en la salud de los trabajadores, en la TABLA 1 puede observarse el porcentaje de concentración que puede llegar a representar un riesgo de salud ya sea temporal o permanente. (Safety Instruments, 2018, Diapositiva 18)

Tabla 1.
Efectos en la salud del trabajador

<i>Efectos del Oxígeno</i>	
<i>Efectos en la salud del trabajador si falta oxígeno en el ambiente</i>	
23.5%	Nivel Máximo de Seguridad (OSHA)
21%	Oxígeno en el aire
19.5%	Nivel Inferior (OSHA)
17%	Se afecta el juicio
16%	Primeros síntomas de Anoxia
16 - 12%	Respiración y pulso elevados
14 - 10%	Fatiga y dificultad para respirar
10 - 6%	Nauseas, vomito, inhabilidad para moverse y pérdida del sentido
<6%	Convulsiones, sofoco, se detiene la respiración y el corazón unos minutos después
3 - 5%	Tiempo de vida: 3 - 5 minutos

Conmoción con cianosis intensiva, ataques de pérdida de conocimiento hasta el coma, respiración rápida superficial que conduce a la convulsión, muerte rápida

Entre los principales gases que se encuentran en la atmósfera de la mina se encuentran los mostrados en la Tabla 2, mostrándose los niveles de alarma, así como la media ponderada en el tiempo (TWA) y el límite de concentración del gas tóxico al que se puede estar expuesto de forma continua durante un breve intervalo de tiempo sin sufrir efectos adversos para la salud. (STEAL). (safetyinstruments, 2021, Diapositiva 18)

Tabla 2.
Niveles de alarma

Gas	Puntos de Alarma y Valores Permisibles			
	Alarma Baja	Alarma Alta	TWA	STEAL
CO ₂	0.5 % Vol.	1 % Vol.	0,5 % Vol.	3 % Vol.
CO	25 PPM	50 PPM	25 PPM	400 PPM
H ₂ S	1 PPM	5 PPM	1 PPM	5 PPM
O ₂	19.5 % Vol.	23.5 % Vol.	. ---	----
CH ₄	0.5 % Vol.	1 % Vol.	----	---
NO ₂	3 PPM	6 PPM.	1 PPM.	5 PPM

Complementando la Tabla 2 se puede señalar que el principal contaminante de un ambiente cerrado es el monóxido de carbono, y se incrementa de forma considerable al usar maquinaria de combustión a diésel, como es el caso de los scoop tram, jumbos, jumbos ancladores, máquina contrapocera robbins, amacizadores, retroexcavadoras, camiones de servicios, camiones de volteo, camiones orquesta, entre otros usados en la operación de la mina.

La peligrosidad del CO₂ radica en que es un gas inodoro e incoloro al que puede estar expuesto el personal, sin darse cuenta. (NATIONAL CENTER FOR ENVIRONMENTAL HEALTH, 2023)

Hasta los párrafos anteriores se ha hecho énfasis en el impacto que tiene la falta de ventilación en el ser humano, sin embargo, cabe resaltar que la falta de aire fresco, afecta también la productividad de la mina, dado que sería imposible operarla, es decir es un asunto de también de productividad.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

El proyecto consistió en determinar el cálculo del requerimiento total del flujo de aire requerido en el área, en base a la cantidad de equipo y del personal que permanece en el área durante el turno de mayor ocupación, para el cumplimiento del estándar NOM-023-STPS-2012.

Para lo anterior se emplearon (1) y (2), para determinar el caudal según personal que trabaja, así como el Caudal según equipos diésel, respectivamente.

$$Q_1 = (q)(n) \text{ (m}^3\text{/min)} \quad (1)$$

Donde:

Q_1 = Cantidad de aire necesario para el personal (m³/min)

q = Volumen de aire necesario por persona

n = Número de personas trabajando

$$Q_2 = (K)(N) \text{ (m}^3\text{/min)} \quad (2)$$

Donde:

Q_2 = Cantidad de aire necesario para uso de equipos diésel (m³/min)

K = Cantidad de aire mínimo por cada HP

N = Número de HP de los equipos autorizados y que trabajan en la mina.

Posterior a la obtención de los resultados de (1) y (2), estos se usarán para determinar la demanda de aire en el interior de la mina, la cual se obtendrá mediante (3)

$$Q_T = (Q_1 + Q_2 + Q_{fu}) \text{ (m}^3\text{/min)} \quad (3)$$

Donde:

Q_T = Caudal total de aire demandado en interior mina (m³/min)

Q_1 = Cantidad de aire necesario para el personal (m³/min)

Q_2 = Cantidad de aire necesario para uso de equipos diésel (m³/min)

Q_{fu} = 15 % del Q_1 , como coeficiente de pérdida.

El caudal total de aire demandado en interior mina, se obtendrá en base al mínimo requerido en la normativa nacional mediante la NOM-023-STPS-2012, así como también con estándares internacionales de países referenciales en el ámbito minero, como lo es el caso de Chile a través el art. n° 132.

De acuerdo a la NOM-023-STPS-2012, los mínimos requeridos son:

- a) 1.50 metros cúbicos por minuto por cada trabajador.
- b) 2.13 metros cúbicos de aire por minuto por cada caballo de fuerza de la maquinaria accionada por motores de combustión diésel.

De acuerdo a la norma chilena, del art. n° 138 los caudales mínimos son:

- a) 3 metros cúbicos por minuto por cada trabajador.
- c) 2.83 metros cúbicos de aire por minuto por cada caballo de fuerza de la maquinaria accionada por motores de combustión diésel.

Para el cálculo de los caudales, se obtuvieron los datos de los trabajadores del turno de mayor ocupación, así como la totalidad de los equipos utilizados, obteniéndose los datos mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 3.

Datos por turno.

Cantidad de equipos utilizados en el turno	Totalidad de HP en el turno	Cantidad de personal en el turno más numeroso
16	4,539	500

Tabla 5.

Cantidad de aire necesario para uso de equipos diésel

<i>(m³/min)</i>			
Normas	K	N	Q2
Norma Mexicana	3	4,539	13,617
Norma Chile	2.83	4,539	12,845

Tabla 6.

Coefficiente de perdida

	<i>Qfu</i>
Norma Mexicana	112.5
Norma Chile	225

Tabla 7.

Caudal total de aire demandado en interior mina (m³/min)

Normas	Q1	Q2	Qfu	Qt
Norma Mexicana	750	13,617	112.5	14,479.50
Norma Chile	1,500	12,845	225	14,570.37

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este apartado permite presentar los resultados de la investigación científica. En las tablas subsecuentes se muestran los resultados obtenidos para la cantidad de aire para personal correspondiente a la norma mexicana y Chilena, los valores corresponden a 750 y 1500 m³/min.

En lo que respecta a los resultados de Cantidad de aire necesario para uso de equipos diésel los valores corresponden a 13,617 m³/min para la norma mexicana y 12,845 m³/min. para la norma chilena

Para los valores correspondientes al caudal total de aire demandado en interior mina de acuerdo a los cálculos se obtuvieron 112.5 225 m³/min para norma mexicana y norma Chilena.

Tabla 4.

Cantidad de aire para personal (m³/min)

Normas	q	n	Q1
Norma Mexicana	1.5	500	750
Norma Chile	3	500	1500

Figura 1.

Comparativo de cantidad de aire para personal

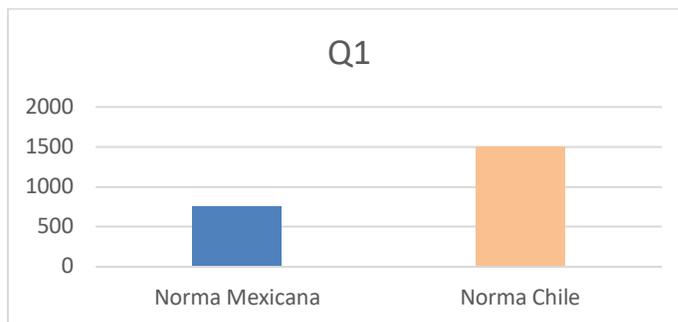
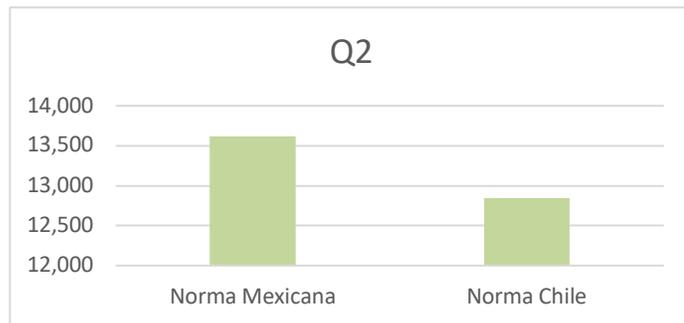


Figura 2.

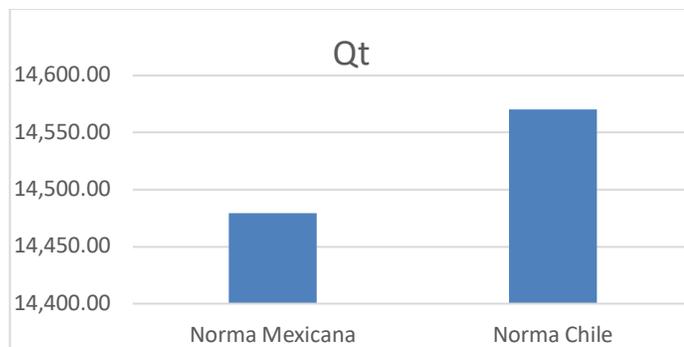
Comparativo de Cantidad de aire necesario para uso de equipos diésel.



Chile puede ser considerado como referente en el giro minero debido a la cantidad y experiencia acumulada en el ramo por lo que el resultado obtenido cobra valor debido a que los niveles de m^3/min garantizan el cumplimiento mexicano y otorga una diferencia favorable debido a que los gases generados tanto por maquinaria a diésel y gasto por combustión humana no es una variable estática.

Figura 3.

Comparativo de caudal total de aire demandado en interior mina



IV. CONCLUSIONES

Al realizar la comparación entre las dos normas, se concluye que la norma mexicana se encuentra en un nivel de cumplimiento de caudal menor al requerido por la norma Chilena, por lo tanto la empresa opto por implementar acciones para cubrir la cantidad de $14,570.37 \text{ m}^3/\text{min}$, con lo que se satisface y excede a lo solicitado por NOM-023-STPS-2012, lo cual es correcto dado que la misma determina el límite inferior a cumplir.

Con un margen de cumplimiento más amplio en cuanto al caudal de aire proporcionado, favorece el ambiente de seguridad y se reduce significativamente el riesgo de trabajar en un contexto que por su naturaleza se presume peligroso.

La empresa al determinar el caudal objetivo, conoce la capacidad necesaria de los ventiladores a instalar, lo anterior se logra al convertir las unidades de m^3/min a unidades CFM, lo cual es el acrónimo de cubic feet per minute, es decir pie^3/min , teniendo como resultado $30,872,866$ cubic foot per minute (cfm), que, al combinarse con una ventilación mixta, es decir aspirante / soplante, elegida mediante la simulación en Ventsim, permitirá tener equilibrio entre los beneficios y los costos de la ventilación instalada, el cual puede representar según datos históricos alrededor del 50 % de los costos de operación de una mina. (Gomez De La Torre Hernández & Alcalá Adrianzen, 2021, párr 6)

V. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Torreón e Instituto Tecnológico Superior de Lerdo por los medios proporcionados por la realización del presente estudio, así mismo se agradece a la empresa involucrada, por atender a la solicitud de información para esta investigación

VI. REFERENCIAS

- Cámara de diputados. (18 de mayo de 2023). *Cámara de diputados*. doi:<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/cpeum.htm>
- Concepto. (1 de Septiembre de 2020). *Concepto*. doi:<https://concepto.de/piramide-de-kelsen/>
- Diario oficial de la federacion. (31 de agosto de 2015). *Diario Oficial De La Federacion*. Obtenido de Diario Oficial De La Federacion: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5405659&fecha=31/08/2015#gsc.tab=0
- El Blog de la ventilación eficiente. (17 de mayo de 2021). *El Blog de la ventilación eficiente*. Obtenido de El Blog de la ventilación eficiente: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/aplicacion-de-la-ventilacion-en-la-mineria-subterranea/>
- Gomez De La Torre Hernandez, A., & Alcalá Adrianzen, M. E. (14 de 03 de 2021). *iiis.org*. doi:<https://www.iiis.org/CDs2022/CD2022Spring/papers/CB220KJ.pdf>
- Llancho Alhuirca, U., & Vargas Castro, A. (2020). <https://repositorio.utp.edu.pe/>. Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.pe/>: https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/3417/Ubaldo%20Llancho_Armando%20Vargas_Tesis_Titulo%20Profesional_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Naciones unidas. (7 de SEPTIEMBRE de 2020). *Naciones unidas*. Recuperado el 2023, de Naciones Unidas:
<https://www.un.org/es/observances/clean-air-day#:~:text=El%20aire%20limpio%20es%20importante,mundo%20que%20se%20podr%C3%ADan%20evitar.>
- National center for environmental health. (18 de enero de 2023). *National center for environmental health*. Obtenido de National center for environmental health:
<https://www.cdc.gov/nceh/>
- Positiva compañía de seguros. (16 de Noviembre de 2020). *Positiva compañía de seguros*. Obtenido de positiva compañía de seguros:
https://www.anm.gov.co/sites/default/files/folleto_mineria_ventilacion.pdf
- Quispe Caceres, P. (13 de septiembre de 2020). *repositorioslatinoamericanos*. Obtenido de repositorioslatinoamericanos:
<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3280760>
- Redacción Médica. (7 de febrero de 2018). *Redacción Médica*. doi:<https://www.redaccionmedica.com/secciones/ingenieria/calidad-del-aire-interior-filtracion-y-nueva-norma-iso-16890-8107>
- Revista seguridad minera. (5 de junio de 2020). *Revista seguridad minera*. Obtenido de Revista seguridad minera:
<https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/metodos-y-planeacion-de-ventilacion-de-minas-subterranas/>
- Safety Instruments. (15 de mayo de 2018). *Safety Instruments*. Obtenido de Safety Instruments:
https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/resentacion_multidetectors_ibrid-mx6.pdf
- Safetyinstruments. (8 de febrero de 2021). *safetyinstruments*. Obtenido de safetyinstruments: <https://www.safetyinstruments.com.co/>
- Women for safety. (19 de noviembre de 2020). *WOMEN FOR SAFETY*. Obtenido de WOMEN FOR SAFETY:
<https://womenforsafety.medium.com/la-ventilaci%C3%B3n-proceso-clave-en-las-operaciones-mineras-subterr%C3%A1neas-3a8b27992fa8>