



Entramado

ISSN: 1900-3803

ISSN: 2539-0279

Universidad Libre de Cali

Torres-Sandoval, Fabian Alfredo; Murcia-Hurtado, David Alejandro
Riesgo por exposición a agentes químicos y atmósferas
explosivas en minas de carbón de Tópaga, Colombia *
Entramado, vol. 17, núm. 2, 2021, pp. 292-304
Universidad Libre de Cali

DOI: <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.7108>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=265470004020>

- ▶ [Cómo citar el artículo](#)
- ▶ [Número completo](#)
- ▶ [Más información del artículo](#)
- ▶ [Página de la revista en redalyc.org](#)

LUENA 

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Riesgo por exposición a agentes químicos y atmósferas explosivas en minas de carbón de Tópaga, Colombia *

Fabian Alfredo Torres-Sandoval

Docente Investigador, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Duitama - Colombia.
fabian.torres01@uptc.edu.co  <https://orcid.org/0000-0002-3766-1027>

David Alejandro Murcia-Hurtado

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Sogamoso - Colombia.
david.murcia01@uptc.edu.co  <https://orcid.org/0000-0002-0758-8930>

RESUMEN

Se realizó un estudio observacional de corte transversal con enfoque descriptivo con el objetivo de determinar el riesgo por exposición a agentes químicos, atmósferas peligrosas y definir recomendaciones para mejorar las condiciones de trabajo en las minas de carbón de Tópaga (Boyacá). Para recopilar la información se utilizó el cuestionario para la identificación y prevención del riesgo en espacios confinados, del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, y se realizaron mediciones de gases en las minas. Los resultados muestran que el 25% de las minas tienen niveles de oxígeno inferiores a 19,5% y ninguna supera el límite de explosividad. El 15% supera el Valor Límite Permissible (VLP) de monóxido de carbono y el 20% supera el VLP de sulfuro de hidrógeno y dióxido de azufre. Entre las recomendaciones propuestas se encuentra favorecer la ventilación natural, aplicar ventilación forzada cuando la natural resulte insuficiente y el empleo de calzado y herramientas antichispa. Se concluye que, en general, las condiciones de trabajo en las minas son inadecuadas para la seguridad y salud de los mineros.

PALABRAS CLAVE

Agentes químicos; atmósferas explosivas; minas de carbón; mineros; riesgo; Tópaga, Boyacá

Risk due to exposure to chemical agents and explosive atmospheres in the coal mines of Tópaga, Colombia

ABSTRACT

An observational cross-sectional study with a descriptive approach was carried out with the objective of determining the risk due to exposure to chemical agents, dangerous atmospheres and defining recommendations to improve working conditions in the coal mines of Tópaga (Boyacá). During the data collection process was used the questionnaire for the identification and prevention of risk in confined spaces, of the National Institute of Safety and Hygiene at Work. Moreover, gas measurements were made in the mines. The results show that 25% of the mines have oxygen levels below 19.5% and none exceed the explosive limit. 15% exceed the Permissible

Recibido: 20/01/2021 Aceptado: 10/06/2021

* Este es un artículo Open Access bajo la licencia BY-NC-SA (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

Cómo citar este artículo: TORRES-SANDOVAL, Fabian Alfredo; MURCIA-HURTADO, David Alejandro. Riesgo por exposición a agentes químicos y atmósferas explosivas en minas de carbón de Tópaga, Colombia. En: Entramado. Julio - Diciembre, 2021 vol. 17, no. 2, p. 292-304 <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.27108>



Limit Value (VLP) for carbon monoxide and 20% exceed the VLP for hydrogen sulfide and sulfur dioxide. The proposed recommendations include favoring natural ventilation, applying forced ventilation when the natural one is insufficient and the use of non-sparking shoes and tools. It is concluded that, in general, the working conditions in the mines are inadequate for the safety and health of the miners.

KEYWORDS

Chemical agents; coal mines; explosive atmospheres; miners; risk; Tópaga, Boyacá

Risco de exposição a agentes químicos e atmosferas explosivas em minas de carvão em Topaga, Colômbia

R E S U M O

Foi realizado um estudo observacional transversal com abordagem descritiva com o objetivo de determinar o risco devido à exposição a agentes químicos, atmosferas perigosas e definir recomendações para melhorar as condições de trabalho nas minas de carvão de Tópaga em Boyacá. Para colher as informações, foi utilizado o questionário de identificação e prevenção de riscos em espaços confinados, do Instituto Nacional de Segurança e Higiene no Trabalho, e realizaram medidas do nível dos gases nas minas visitadas. Os resultados mostram que 25% das minas apresentam níveis de oxigênio abaixo de 19,5% e nenhuma excede o limite explosivo. 15% excedem o valor limite permitido (VLP) para o monóxido de carbono e 20% excedem o VLP para o sulfeto de hidrogênio e dióxido de enxofre. Entre as recomendações propostas estão favorecer a ventilação natural, aplicar ventilação forçada quando a ventilação natural for insuficiente e o uso de calçados e ferramentas anti-faísca. Conclui-se que, em geral, as condições de trabalho nas minas são inadequadas para a segurança e a saúde dos mineiros.

PALAVRAS-CHAVE

Agentes químicos; atmosferas explosivas; minas de carvão; mineiros; risco; Tópaga, Boyacá

I. Introducción

De acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo Minero (PNDM) con horizonte a 2025, elaborado por la [Unidad de Planeación Minero Energética UPME \(2017\)](#), la demanda y oferta mundial de minerales continuará siendo liderada por el carbón. El mismo Plan Nacional de Desarrollo Minero indica que durante los últimos años la demanda de carbón térmico y metalúrgico ha estado liderada por China, India, Japón y Corea del Sur, países que —en mayor medida— requieren carbón térmico debido a su uso en la generación de energía eléctrica.

La minería de carbón en Colombia está compuesta por distintos subsectores, entre los cuales el más importante es el de la extracción. Este mineral es el de mayor relevancia para el país por su alto volumen de producción, competitividad, calidad, información sobre reservas, comercio internacional y generación de regalías. Otros indicadores también demuestran que más de la mitad de las reservas de carbón de alta calidad de Suramérica se encuentran en Colombia, país que, según la [UPME \(2017\)](#), exporta el 90% del carbón

que produce y tiene proyecciones de 54 años en reservas para explotación.

Pese a la importancia económica del carbón para Colombia, solamente en épocas recientes se evidenció una primera intención por proteger la vida y salud de los trabajadores, frente a las condiciones particulares de su actividad laboral. Se tuvo que esperar hasta 1993 para que fuera constituido el Reglamento de higiene y seguridad en las labores mineras a cielo abierto ([Decreto 2222, 1993](#)). En complemento, recientemente se estableció el Reglamento de seguridad en las labores mineras subterráneas ([Decreto 1886, 2015](#)), con lo cual se superó un vacío jurídico que tendía a hacer invisible el trabajo de los mineros y su vulnerabilidad.

Los resultados del Censo minero departamental 2010–2011, presentado por el [Ministerio de Minas y Energía \(2012\)](#), indican que en Colombia la actividad minera expone a los trabajadores a peligros que pueden afectar su salud y que los accidentes de trabajo en el sector tienen alta probabilidad de fatalidad. Igualmente, señala que la implementación de estándares de seguridad industrial y salud minera es muy

baja, debido a que, en promedio, el 72% de las Unidades de Producción Minera (UPM) no cuenta con medidas de seguridad, higiene y salud.

De acuerdo con estadísticas de la [Agencia Nacional de Minería \(ANM, 2020\)](#), el carbón es el mineral relacionado con la mayor cantidad de fatalidades que se presentaron en Colombia entre los años 2005 y 2019, relacionadas con la minería: 1077, que corresponden al 72,96%. De hecho, el incremento de este tipo de muertes ha sido constante y puede seguir creciendo en los próximos años si no se toman medidas para la gestión de los riesgos observados. En relación con las circunstancias, las estadísticas demuestran otros dos hechos importantes: el 87,63% del total de fatalidades ocurridas entre 2005 y 2019 ocurrieron en explotaciones subterráneas, mientras que solamente el restante 12,37% ocurrieron en explotaciones a cielo abierto. En segundo lugar, los derrumbes, las explosiones y las atmósferas viciadas, aparecen entre las principales causas de fallecimiento en labores mineras. Cabe agregar que al interior de las minas las explosiones son la principal causa de los derrumbes.

De acuerdo con el [Ministerio de Minas y Energía \(2012\)](#), en el departamento de Boyacá existen 1487 UPM de carbón, que corresponden al 53,5% del total de las UPM de carbón de Colombia. Debido a lo anterior, este departamento no es ajeno a los problemas de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) que se presentan en la mayoría de las demás regiones del país. Las cifras indican que el 54,5% de las UPM no implementan acciones de SST. Se observa también que Boyacá es el departamento con el mayor número de fatalidades en Colombia relacionadas con la minería. Entre los años 2005 y 2019 se presentaron 342 casos, que constituyen el 23,17% de muertes mineras. Las causas más frecuentes fueron los derrumbes con el 27,1% del total de los casos; las explosiones con el 24,5%; las atmósferas viciadas con el 15,8%; la inestabilidad de taludes, 9,9%; y los daños mecánicos, 8,4% ([ANM, 2020](#)).

En Tópaga, uno de los 123 municipios de Boyacá, la minería de carbón es la actividad económica más importante. En el año 2015 contribuyó con la generación de casi quinientos empleos, lo que para ese año correspondió al 12,5% del total de la población del municipio ([UPME, 2017](#)). De acuerdo con [Ramírez y González \(2016\)](#), Tópaga reportó a la Estación de Seguridad y Salvamento Minero de la ANM (punto de atención regional Nobsa) 10 de las 42 emergencias mineras ocurridas en la provincia de Sugamuxi entre los años 2006 y 2015. Esos reportes dan cuenta de que Tópaga fue uno de los municipios que más emergencias reportó durante ese periodo. En cuanto a las causas de las emergencias, se reportó que tres fueron generadas por derrumbes, dos por deficiencia de oxígeno, dos por caídas

de roca, una por explosión por metano, una por caída a diferente nivel y una de origen mecánico.

Ante esta situación, se planteó determinar los riesgos por exposición a agentes químicos y a atmósferas explosivas en las minas de carbón del municipio de Tópaga, Boyacá. Igualmente, definir recomendaciones para mejorar las condiciones de seguridad y salud de los mineros. Para desarrollar los anteriores objetivos, se utilizó el cuestionario para la identificación y prevención del riesgo en espacios confinados del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo ([Berlana, 2008](#)) y se realizaron mediciones de gases en las minas.

El presente estudio busca aportar al conocimiento científico a partir de una contribución específica: permitir el reconocimiento de la realidad del trabajo minero en el municipio de Tópaga (Boyacá). En este sentido, se espera que la implementación de las recomendaciones propuestas genere un impacto social positivo, en busca de una mejora en las condiciones de trabajo de los mineros que, consecuentemente, pueda repercutir en el bienestar y la calidad de vida del municipio, cuya economía gira principalmente en torno a la explotación del carbón.

Con el ánimo de contextualizar la problemática que se aborda en el presente estudio, a continuación se presenta un marco teórico en el que se abordan temas como la minería de carbón en Tópaga, los espacios confinados, un perfil socioeconómico de los mineros de Boyacá, los agentes químicos y los efectos de los factores de riesgo presentes sobre la salud y seguridad de los mineros.

2. Marco teórico

Minería de carbón en Tópaga, Boyacá

De acuerdo con el Ministerio de Minas y Energía una mina subterránea es una:

Excavación que tiene como propósito la explotación económica de un yacimiento mineral, puede constar como mínimo de dos accesos, pero que en conjunto forman una unidad de explotación técnica o económica. Hacen parte de dicha unidad, los mantos de carbón u otro mineral contenidos en el área considerada, las instalaciones y obras del subsuelo y las de superficie necesaria para la explotación, beneficio y cargue del mineral extraído ([Decreto 1886, 2015, p. 15](#)).

Las actividades que abarcan la explotación en la minería subterránea son: desarrollo, preparación, arranque,

almacenamiento, cargue y transporte dentro de la mina, almacenamiento fuera de la mina y transporte externo ([Alianza por la Minería Responsable, 2016](#)). De lo anterior se puede inferir un cuadro descriptivo del entorno de trabajo de los mineros de carbón.

El [Ministerio de Minas y Energía](#) define los métodos de explotación como “una forma geométrica usada para explotar un yacimiento determinado. Es el modo de dividir el cuerpo mineralizado en sectores aptos para el laboreo” (2003, p. 104). En el municipio de Tópaga predomina el método de extracción por cámaras y pilares que, de acuerdo con la [Alianza por la Minería Responsable \(2016\)](#), se utiliza “para depósitos que presenten estratos horizontales o bajo ángulo de inclinación. La explotación se realiza con accesos por el estrato mineral demarcando los pilares que serán el soporte del techo de la explotación” (p. 26). El uso de este método requiere de una vía principal de transporte, accesos a los diferentes frentes de explotación y una vía para la circulación del aire.

Si se ahonda en la comparación que los datos ofrecen, se encontrará que Boyacá es el departamento de Colombia con el mayor porcentaje de minas de carbón con título minero, correspondiente al 69,7% del total de sus minas de carbón, seguido por Norte de Santander, Cundinamarca y Antioquia con el 64,9%, 50,8% y 26,7% respectivamente ([Ministerio de Minas y Energía, 2012](#)). Revisando el caso específico del municipio, un informe presentado por el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo ([MINCIT, 2018](#)), asegura que en Tópaga existen 45 minas de carbón activas, distribuidas en cuatro veredas de la siguiente manera: Atravieza tiene el 24,4% de las minas de carbón; San José, el 53,3%; San Juan Nepomuceno, el 4,5% y San Judas Tadeo, el 17,7%.

Espacios confinados

Como el espacio confinado es el ámbito más común del trabajo minero, vale la pena observar cómo es el ambiente al interior de las minas. Para ello, a continuación se definen y clasifican los espacios confinados y, además, se describen los tipos de atmósfera que pueden estar presentes en este tipo de espacios, según lo indicado por el Ministerio del Trabajo:

Los espacios confinados son aquellos que no están diseñados para la ocupación continua del trabajador; tienen medios de entrada y salida restringidos (dimensión y/o forma) o limitados (cantidad) y que son lo suficientemente grandes y configurados como para que permitan que el cuerpo de un trabajador pueda entrar ([Resolución 0491, 2020](#)).

La misma [Resolución 0491 \(2020, p. 2\)](#) clasifica los espacios confinados en dos tipos. Al primero lo ejemplifica con las zanjas que tienen más de 1,2 metros de profundidad, y los pozos y depósitos que no tienen una ventilación adecuada. Son el Tipo 1 y tienen espacios abiertos en su parte superior y un nivel de profundidad que dificulta la ventilación natural. En segundo lugar, aparecen los espacios confinados de Tipo 2. Son lugares cerrados que tienen una pequeña abertura de entrada y salida. Se trata comúnmente de tanques, túneles, alcantarillas, bodegas y silos.

Según el grado de peligro para la vida de los trabajadores, los espacios confinados se pueden dividir en tres grados. En el Grado A aparecen espacios que “contienen o pueden llegar a contener peligros inminentes que comprometan la vida o la salud de las personas” ([Resolución 0491, 2020, p. 3](#)). Los espacios del Grado B suelen presentar peligros potenciales para los trabajadores, tales como lesiones o enfermedades que no llegan a comprometer directamente su vida. Los riesgos en este Grado pueden ser controlados con la implementación de medidas de protección y prevención, y con el uso de elementos de protección personal. Finalmente, la Resolución indica que en el Grado C, las situaciones de peligro relacionadas con el espacio confinado no exigen modificaciones a los procedimientos de trabajo o el uso de elementos de protección personal.

Para complementar la clasificación anterior, a continuación se presentan los tipos de atmósfera que pueden estar presentes en los espacios confinados. Según las indicaciones del Ministerio de Trabajo, deben ser consideradas como atmósferas peligrosas debido a que pueden causar la muerte de una persona o por lo menos un alto riesgo, una incapacidad, el deterioro de su capacidad de auto-rescate, una lesión o una enfermedad grave. Seguidamente a cada atmósfera se le asignan las características que aparecen en la [Resolución 0491 \(2020, p. 4\)](#):

- **Atmósfera tóxica:** concentración de cualquier sustancia química peligrosa por arriba de los niveles permisibles establecidos por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH) o los valores límites permisibles fijados por el Ministerio de Salud y Protección Social.
- **Atmósferas explosivas:** son la mezcla con el aire de sustancias inflamables en forma de gases, vapores, nieblas o polvos, en condiciones atmosféricas, que, tras una ignición, la combustión se propaga a la totalidad de la mezcla no quemada. Se considerará un ambiente peligroso de atmósfera explosiva, aquel cuya concentración de contaminante o sustancia inflamable es mayor al 10% del límite inferior de explosividad.
- **Atmósfera deficiente o enriquecida de oxígeno:** es aquella con una concentración de oxígeno en el

aire por debajo del 19.5% o por arriba del 23.5% en volumen.

- **Atmósfera inerte:** es aquella atmósfera no respirable e inmediatamente peligrosa para la vida y la salud, compuesta por gas o mezcla de gases que no reaccionan químicamente bajo ninguna condición de temperatura y presión. Generalmente son atmósferas con presencia de nitrógeno o con dióxido de carbono.

Perfil socioeconómico de los mineros de Boyacá

En Boyacá, el 76,4% de las UPM tienen entre uno y cinco empleados, el 23,1% entre seis y cien empleados y solamente el 0,5% tiene más de cien empleados ([Ministerio de Minas y Energía, 2012](#)). El 81% de población minera es masculina y el 65% de trabajadores corresponde a un rango de edad entre 21 y 44 años ([Asamblea Departamental de Boyacá, 2020](#)).

En cuanto al nivel educativo de los mineros, el 5,1% son analfabetos; el 74,6%, realizaron la primaria; el 15%, la secundaria; el 2,8% son técnicos o tecnólogos y solamente el 2,5% son profesionales. Es importante agregar también que el 35,2% de los mineros residen en la mina ([Ministerio de Minas y Energía, 2012](#)).

El medio de transporte más utilizado por los mineros para llegar a su sitio de trabajo es el servicio público, este medio lo utiliza el 49,6% de los mineros. El 19,1% se traslada a pie, el 19% en vehículo propio, el 9,68% en moto, el 2,2% en bicicleta y el restante 0,4% a caballo. En cuanto a la afiliación a seguridad social, el 21,7% de los mineros pertenecen al régimen subsidiado, el 46,8% al régimen contributivo y el restante 31,5% no pertenecen a ningún régimen. Del régimen contributivo, el 46,92% está afiliado a salud, el 44,9% a pensiones y el 44,7% a una administradora de riesgos laborales ([Ministerio de Minas y Energía, 2012](#)). Estas cifras pueden servir como panorama del perfil socioeconómico que caracteriza a los trabajadores de las minas.

Agentes químicos

De acuerdo con la Guía técnica para el análisis de exposición a factores de riesgo ocupacional del Ministerio de Salud y Protección Social ([Gutiérrez, 2011](#)), los agentes químicos son “elementos y sustancias que, al entrar al organismo, mediante inhalación, absorción cutánea o ingestión puede provocar intoxicación, quemaduras, irritaciones o lesiones sistémicas depende del grado de concentración y tiempo de exposición” (p. 96). A continuación, se describen los estados físicos más frecuentes en los que se pueden encontrar agentes químicos en las minas de carbón:

- **Sólidos:** Se incluyen las fibras y los polvos, son partículas sólidas suspendidas en el aire cuyo tamaño oscila entre 0.1 y 25 micras de diámetro. Pueden ser producidos por la ruptura de materiales sólidos.
- **Humos:** Se clasifican en metálicos y no metálicos. Son partículas sólidas que se suspenden en el aire con un tamaño generalmente inferior a 0.1 micra y se originan en procesos de combustión incompleta.
- **Líquidos:** Se incluyen neblinas y rocíos. Las neblinas se forman por condensación de una sustancia y tienen un tamaño que va desde 0.01 a 10 micras. Los rocíos son partículas líquidas en suspensión en el aire que se generan por la condensación del estado gaseoso al líquido o por dispersión mecánica de un líquido.
- **Gases:** Son sustancias de tamaño molecular que se mantienen en estado físico a la temperatura y presión ordinarias (25°C y 760 mm de Hg).
- **Vapores:** “Son sustancias en estado gaseoso de tamaño molecular que a temperatura y presión ordinarias se encuentran en estado sólido o líquido” ([Gutiérrez, 2011, pp. 103-104](#)).

Efectos de los factores de riesgo presentes sobre la salud y seguridad de los mineros

De acuerdo con la tabla de enfermedades laborales establecida en el [Decreto 1477 \(2014\)](#) del Ministerio del Trabajo, la exposición a agentes químicos como el polvo de carbón puede generar en los trabajadores enfermedades que afectan principalmente las vías respiratorias. El monóxido de carbono trae consecuencias incluso mortales por infarto agudo de miocardio y paro cardíaco. La exposición al sulfuro de hidrógeno genera principalmente afectaciones crónicas de las vías respiratorias.

Los accidentes dentro de las minas producidos por derrumbes y explosiones, entre otras causas, generan muchas muertes cada año. De acuerdo con la [Agencia Nacional de Minería \(2020\)](#), entre los años 2005 y 2019, solamente en Boyacá se presentaron 342 fatalidades, de las cuales aproximadamente 93 ocurrieron por derrumbes y 84 por explosiones, lo cual es un factor prioritario a controlar. Adicional a esta grave problemática, los mineros involucrados en accidentes de trabajo severos, como las explosiones, también pueden presentar secuelas relacionadas con enfermedades gastrointestinales, trastornos del sueño y estrés posttraumático ([Decreto 1477, 2014](#)).

3. Metodología

Tipo de estudio

Para el desarrollo de este trabajo se planteó un estudio observacional de corte transversal con enfoque descriptivo,

en el que se describieron detalladamente las características que presenta el objeto de estudio.

Muestra

Siguiendo los resultados de un informe del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo ([MINCIT, 2018](#)) sobre las minas dedicadas a la explotación de carbón, en Tópaga existen 45 minas de carbón legales activas, distribuidas en las veredas Atravieza, San José, San Judas Tadeo y San Juan Nepomuceno. Para el presente estudio se tomó una muestra compuesta por veinte minas de carbón. Los aspectos que se tuvieron en cuenta para su selección fueron dos:

- Que fueran minas ubicadas en las veredas Atravieza, San Judas Tadeo y San José por ser de fácil acceso al estar ubicadas cerca a la vía principal que comunica a los municipios de Tópaga y Mongua.
- Que fueran minas que autorizaran el ingreso para realizar la recolección de la información.

Técnicas de recolección y análisis de la información

Etapa 1. En la primera etapa se determinó el riesgo por exposición a agentes químicos y atmósferas explosivas en las minas de carbón. Para esto, los inspectores de SST de las minas diligenciaron los apartados 2.1 y 2.2 del cuestionario del INSHT ([Berlana, 2008](#)).

El apartado 2.1 del cuestionario permitió recopilar información sobre la exposición a agentes químicos. Entre los aspectos identificados se encuentran: la ventilación, el nivel de oxígeno, la presencia de sustancias químicas, la generación de gases, la presencia de nieblas, vapores o polvos asfixiantes o tóxicos, y procesos que puedan producir sulfuro de hidrógeno, metano y monóxido de carbono.

El apartado 2.2 del cuestionario del INSHT permitió recopilar información sobre la exposición a atmósferas explosivas. Allí se definen aspectos como la presencia en el aire de sustancias inflamables en forma de gases, vapores, nieblas o polvos combustibles; la existencia de depósitos de combustible y canalizaciones de gas; la producción en el terreno de formaciones de bolsas y emanaciones de gases combustibles de forma natural; el uso de disolventes u otros productos que contienen sustancias inflamables y procesos que liberan oxígeno (O_2) al ambiente generando atmósferas sobre-oxigenadas.

Etapa 2. En la segunda etapa se realizaron mediciones atmosféricas en las minas de carbón. Se utilizó un monitor

de gas calibrado de la marca MSA, modelo ALTAIR 5X. Para realizar las mediciones se siguieron las recomendaciones realizadas por Ministerio de Trabajo en la [Resolución 0491 \(2020\)](#) donde se establecen los requisitos mínimos de seguridad para el desarrollo de trabajos en espacios confinados. A continuación, se presentan los principales aspectos que se tuvieron en cuenta para realizar las mediciones:

Se realizaron mediciones a cien metros de la entrada de las minas y la altura de las mediciones respecto al piso se hizo en tres estratos, de la siguiente manera: primer estrato a 0,5 metros de altura, segundo estrato a 1,5 metros de altura y tercer estrato a una altura de 2 metros. El tiempo para cada medición fue dado por el tiempo de respuesta del medidor que en promedio fue de veinte segundos. Se registró información sobre oxígeno (O_2), límite inferior de explosividad, monóxido de carbono (CO), sulfuro de hidrógeno (H_2S) y dióxido de azufre (SO_2).

Una vez realizadas las mediciones de gases, se compararon los resultados con los valores límites permisibles, definidos en el Decreto 1886 de 2015, y con el porcentaje de oxígeno y el límite inferior de explosividad definidos en la Resolución 0491 de 2020, para identificar las minas en las que se estaban incumpliendo dichos parámetros.

Etapa 3. En la tercera etapa se definieron recomendaciones que permitirían mejorar las condiciones de seguridad y salud de los trabajadores mineros. Para esto se utilizó la guía para la elección de medidas de prevención y control, del cuestionario del INSHT ([Berlana, 2008](#)), la cual presenta una serie de recomendaciones que se pueden implementar según los riesgos identificados.

4. Resultados

Determinación del riesgo por exposición a agentes químicos

A continuación, se presenta el porcentaje de minas en las que se registró la presencia de agentes químicos. Los resultados obedecen a la información suministrada por los inspectores de SST de las minas, mediante el diligenciamiento del apartado 2.1 del cuestionario del INSHT ([Berlana, 2008](#)).

De acuerdo con los resultados presentados en la [Tabla 1](#), se resaltan tres aspectos desfavorables que caracterizan el riesgo por exposición a agentes químicos dentro de las minas: el primero es el consumo elevado de oxígeno por parte de los mineros debido a que realizan una actividad con una carga física intensa, el segundo es la presencia de gases asfixiantes o tóxicos en el ambiente como el sulfuro de hidrógeno (H_2S), el metano (CH_4) y el monóxido de

Tabla 1.
Determinación del riesgo por exposición a agentes químicos

Presencia de contaminantes químicos	Sí	No	
La ventilación natural es desfavorable (aberturas limitadas, existencia de zonas sin corrientes de aire, ángulos muertos, etc.).	75%	25%	
El nivel de oxígeno es deficiente. (Se considera deficiente cuando es inferior al 19,5%, siendo crítico cuando no alcanza el 17%).	25%	75%	
Las características del lugar o procesos reducen los niveles de oxígeno:	En la zona se llevan a cabo procesos de oxidación de metales, combustiones lentas o llamas.	20%	80%
	El recinto posee aguas carbonatadas (grutas, cavernas, cuevas, etc.).	10%	90%
Los trabajos realizados requieren consumo elevado de oxígeno (carga física intensa) y se realizan en recintos extremadamente reducidos.	100%	0%	
El recinto puede contener o ha contenido sustancias químicas (depósitos).	60%	40%	
Existe posibilidad de filtraciones y vertidos tóxicos de actividades próximas (redes de aguas residuales, industrias químicas, etc.).	15%	85%	
El recinto se encuentra comunicado con zonas donde se pueden generar o desprender gases, vapores, nieblas o polvos, asfixiantes o tóxicos.	85%	15%	
En la zona es posible la formación de reacciones químicas imprevistas, como, por ejemplo, áreas de vertidos industriales.	Mantenimiento con aplicación de productos que contienen sustancias tóxicas.	10%	90%
	Reparación con soldadura.	20%	80%
En el interior del recinto se llevan a cabo actividades o procesos que liberan contaminantes al ambiente:	Removido y pisado de lodos con liberación de sulfuro de hidrógeno (H ₂ S).	25%	75%
	Desatasco de conducciones con liberación de H ₂ S.	15%	85%
	Descomposición biológica y/o fermentación de sustancias que producen sulfuro de hidrógeno (H ₂ S), metano (CH ₄) y monóxido de carbono (CO).	20%	80%
Utilización de motores de combustión.	30%	70%	
Los trabajos realizados requieren el uso de gases inertes como argón, nitrógeno, etc., por ejemplo, para efectuar trabajos de soldadura.	20%	80%	
Se acumulan gases más pesados que el aire como el dióxido de carbono.	65%	35%	
Especificar los tipos de contaminantes que pueden estar presentes.	H ₂ S, CH ₄ y CO		

Fuente: Elaboración propia.

carbono (CO), y el tercero es una ventilación natural desfavorable. La suma de estos tres aspectos genera para los mineros condiciones inadecuadas que pueden generar enfermedades laborales y accidentes de trabajo.

Determinación del riesgo por exposición a atmósferas explosivas

De acuerdo con los resultados de la [Tabla 2](#), se puede establecer que la principal causa para la generación de atmósferas explosivas en las minas es la formación de bolsas y emanaciones de gases combustibles de forma natural. Otras causas menos frecuentes son: el hecho de que las minas contienen o han contenido sustancias inflamables en

depósitos o canalizaciones y la posibilidad de filtraciones de sustancias combustibles procedentes de actividades del entorno.

Mediciones atmosféricas en las minas de carbón

Según la [Resolución 0491 del Ministerio de Trabajo \(2020\)](#), el aire debe tener un contenido de oxígeno (O₂) de entre 19,5% y 23,5%, y el límite inferior de explosividad o Lower Explosion Level (LEL) debe ser máximo del 10%. Este límite es la concentración mínima de gases, vapores o nieblas inflamables en el aire, por debajo de la cual la mezcla no es explosiva.

Tabla 2.
Determinación del riesgo por exposición a atmósferas explosivas

Presencia de atmósferas explosivas		Sí	No
En el recinto existe o puede existir mezcla en el aire de sustancias inflamables en forma de gases, vapores, nieblas o polvos combustibles. Si esta mezcla está comprendida dentro del rango de explosividad, es decir, entre el límite inferior de explosividad (LEL) y el límite superior de explosividad (LSE), existe riesgo de explosión. Dependiendo de la probabilidad, frecuencia y duración.	La formación de atmósferas explosivas por presencia de polvos o sustancias inflamables es muy probable.	15%	85%
	La formación de atmósferas explosivas por presencia de polvos o sustancias inflamables es probable.	20%	80%
	La formación de atmósferas explosivas por presencia de polvos o sustancias inflamables es poco probable.	15%	85%
El recinto confinado contiene o ha contenido sustancias inflamables (tanques o depósitos de combustible y canalizaciones de gas).		40%	60%
Existe posibilidad de filtraciones de sustancias combustibles procedentes de actividades del entorno (instalaciones de producción, almacenamiento o distribución de gas combustible, gasolineras, etc.) o en recipientes a través de grietas o incluso en espacios naturales como pozos y zanjas.		45%	55%
En el terreno se producen formaciones de bolsas y emanaciones de gases combustibles de forma natural.		90%	10%
Se realizan trabajos con aplicación de pinturas, disolventes u otros productos que contienen sustancias inflamables.		35%	65%
Se realizan procesos que liberan O ₂ al ambiente y originan atmósferas sobreoxigenadas (concentración peligrosa cuando el nivel de oxígeno es superior al 23%, y crítica cuando alcanza el 25%), favoreciendo la formación de explosiones:	Trabajos de oxicorte o soldadura oxiacetilénica.	20%	80%
	Procesos de licuefacción en las superficies frías de equipos no aislados.	0%	100%
	Vaporización de oxígeno en el interior de recipientes criogénicos.	0%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, de acuerdo con el [Decreto 1886 \(2015\)](#) que establece el Reglamento de seguridad en las labores mineras subterráneas, Colombia acoge los estándares internacionales establecidos por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH). Según dicha conferencia, los Valores Límites Permisibles (VLP) o Threshold Limit Values (TLV) para gases contaminantes son los presentados en la [Tabla 3](#).

El VLP - TWA “corresponde al Valor Límite Permissible de Tiempo Promedio Ponderado para una jornada de ocho (8) horas diarias y cuarenta (40) horas a la semana de trabajo” ([Decreto 1886, 2015, p. 38](#)).

El VLP - STEL corresponde al Valor Límite Permissible para un corto tiempo de exposición, el cual no debe exceder quince (15) minutos; debe existir por lo menos un lapso de sesenta (60) minutos entre dos exposiciones sucesivas a este nivel, y no más de cuatro (4) veces en la jornada de trabajo ([Decreto 1886, 2015](#)).

Tabla 3.
VLP para gases contaminantes

Gases	Fórmula	VLP – TWA (ppm)	TLV – STEL (ppm)
Monóxido de carbono	CO	25	-
Sulfuro de hidrógeno	H ₂ S	1	5
Dióxido de azufre	SO ₂	-	0,25

Fuente: Adaptado del Decreto 1886 (2015).

De acuerdo con resultados presentados en la [Tabla 4](#), se encuentra que el 25% de las minas tiene niveles de oxígeno inferiores al 19,5% y ninguna supera el límite inferior de explosividad. Teniendo en cuenta que los mineros trabajan ocho horas diarias, se evidencia que en el 15% de las minas se supera el Valor Límite Permissible (VLP) de monóxido de

Tabla 4.
Mediciones atmosféricas en las minas de carbón de Tópaga

Mina	Estrato	Porcentaje de oxígeno (O2) %	Límite inferior de explosividad (LEL) %	Monóxido de carbono (CO) ppm	Sulfuro de hidrógeno (H2S) ppm	Dióxido de azufre (SO2) ppm
	1	20,9	2	6	0	0
1	2	20,8	2	7	0	0
	3	20,8	2	6	0	0
	1	21,0	2	3	0	0
2	2	21,2	0	4	0	0
	3	21,1	2	4	0	0
	1	20,5	0	6	0	0
3	2	20,5	0	8	0	0
	3	20,6	0	7	0	0
	1	20,1	0	0	0	0
4	2	19,9	0	0	0	0
	3	19,8	0	0	0	0
	1	20,4	0	0	0	0
5	2	20,4	0	0	0	0
	3	20,3	0	0	0	0
	1	20,0	0	29	5	4
6	2	19,8	0	30	4	3
	3	19,7	0	28	3	2
	1	22,4	0	0	0	0
7	2	22,2	0	0	0	0
	3	22,1	0	0	0	0
	1	21,6	0	0	0	0
8	2	21,5	0	0	0	0
	3	21,3	0	0	0	0
	1	18,1	0	7	0	0
9	2	17,9	0	9	0	0
	3	17,8	0	8	0	0
	1	20,2	7	1	0	0
10	2	20,1	6	3	0	0
	3	20,0	6	3	0	0
	1	20,3	0	0	0	0
11	2	20,2	0	0	0	0
	3	20,0	0	0	0	0
	1	19,3	8	28	8	0
12	2	19,3	7	30	7	0
	3	19,1	7	29	6	0
	1	20,2	0	9	0	0
13	2	20,1	0	8	0	0
	3	19,9	0	6	0	0

Continúa en la página siguiente

Mina	Estrato	Porcentaje de oxígeno (O ₂) %	Límite inferior de explosividad (LEL) %	Monóxido de carbono (CO) ppm	Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S) ppm	Dióxido de azufre (SO ₂) ppm
14	1	23,3	0	0	0	0
	2	23,2	0	0	0	0
	3	23,1	0	0	0	0
15	1	19,3	3	27	6	4
	2	19,1	2	28	8	5
	3	18,9	2	25	7	3
16	1	18,9	0	18	8	5
	2	18,7	0	19	7	4
	3	18,4	0	17	5	3
17	1	22,0	0	1	0	0
	2	21,9	0	2	0	0
	3	21,8	0	1	0	0
18	1	20,7	0	7	0	0
	2	20,6	0	9	0	0
	3	20,6	0	8	0	0
19	1	19,3	0	0	0	8
	2	19,2	0	0	0	7
	3	19,0	0	0	0	5
20	1	20,9	0	4	0	0
	2	20,7	0	6	0	0
	3	20,6	0	5	0	0
Rango		17,8 – 23,3	0 - 8	0 - 30	0 - 8	0 – 8
Promedio		20,36	0,97	7,60	1,23	0,88

Fuente: Elaboración propia.

carbono, en el 20% se supera el VLP de sulfuro de hidrógeno y en el 20% se supera el VLP de dióxido de azufre, incluso para un corto tiempo de exposición o STEL.

Recomendaciones de control para reducir el riesgo por exposición a contaminantes químicos

Estas recomendaciones están orientadas a sustituir el aire no respirable por aire limpio del exterior, asegurando que no se generen retornos y que se consigan niveles adecuados de oxígeno reduciendo la presencia de contaminantes químicos dentro de las minas:

- Favorecer la ventilación natural de las minas, instalando en lo posible grandes aberturas y despejando el área de trabajo.
- Emplear ventilación forzada cuando la natural resulte insuficiente, para esto será necesario realizar mediciones dentro de las minas:
- Cuando la densidad de los gases presentes sea mayor a la del aire, como en los casos del sulfuro de hidrógeno y el dióxido de azufre, estos se depositan en las zonas bajas. Para evitarlo se recomienda colocar un tubo de extracción en la zona más baja del lugar para facilitar la entrada del aire natural.
- Cuando la densidad de los gases presentes sea igual o inferior a la del aire, como el caso del monóxido de carbono y el metano, se recomienda insuflar aire limpio en las zonas bajas del recinto para facilitar la salida del aire por la parte superior.
- Realizar ventilación por dilución cuando las fuentes de contaminación no sean puntuales; el aire introducido a la mina deberá ser respirable, evitando que sea captado de zonas aledañas contaminadas.
- Utilizar extracción localizada cuando las fuentes contaminantes sean puntuales ubicando los elementos de captación en la zona de generación del contaminante.

- No se debe ventilar con oxígeno para prevenir la generación de atmósferas sobre-oxigenadas.
- Realizar mediciones de manera continua de contaminantes y del nivel de oxígeno siempre que haya presencia de trabajadores dentro de la mina.
- Disponer de equipos respiratorios independientes del medio ambiente para aquellos casos en los que se pueda agravar la situación dentro de las minas.

Recomendaciones de control para reducir el riesgo por exposición a atmósferas explosivas

El objeto de las recomendaciones para las atmósferas explosivas es evitar su formación, mediante la sustitución o modificación de las sustancias que las generan, la implementación de procedimientos y equipos apropiados para el trabajo bajo las condiciones propias de las minas:

- Reducir la presencia de sustancias y polvos inflamables mediante la eliminación de capas superficiales de polvos combustibles, ventilando el área de trabajo para reducir la concentración de sustancias inflamables en el aire por debajo del límite inferior de explosividad (LEL) o realizando extracción localizada en los puntos donde puedan generarse atmósferas explosivas.
- Si la formación de atmósferas explosivas se puede presentar por bolsas de metano acumuladas en el terreno, se debe prohibir fumar o introducir útiles de ignición, y emplear herramientas y calzado antichispa.
- Si existen instalaciones eléctricas, se debe garantizar su mantenimiento de acuerdo con las disposiciones establecidas en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, RETIE ([Resolución 90708, 2013](#)).
- Aumentar la humedad relativa del aire interior buscando evitar la acumulación de cargas electrostáticas.
- Garantizar el orden y limpieza del lugar de trabajo evitando la posible acumulación de grasa y polvo, especialmente en la cercanía de superficies calientes.

5. Discusión de los resultados

Inicialmente se realiza una comparación entre los resultados de la etapa 1 (determinación del riesgo por exposición a agentes químicos y atmósferas peligrosas mediante la aplicación del cuestionario del INSHT) y la etapa 2 (mediciones atmosféricas realizadas con monitores de gas), con el ánimo de validar los resultados e identificar diferencias que se puedan generar al recopilar información con instrumentos diversos y en distintos momentos.

De acuerdo con la [Tabla 5](#), se encuentra que los resultados del cuestionario del INSHT sobre el porcentaje de minas con niveles de O₂ inferior a 19,5%, CO superior a 25 ppm y H₂S superior a 1 ppm en el aire son validados por las mediciones de gases con monitores que se realizaron en las minas. Por otro lado, se presenta una diferencia en el porcentaje de minas que tienen niveles de O₂ superiores al 23% y LEL superior al 10%. Estas diferencias se pudieron presentar porque la recolección de la información con el cuestionario del INSHT y los monitores de gas se realizó con dos meses de diferencia.

Posteriormente, se realizó una comparación con los resultados de un estudio presentado por Vega en 2001 (citado por [Ospina, Manrique y Guío, 2010](#)), quien hizo mediciones de gases en las minas de carbón de El Salitre en Paipa. En la [Tabla 6](#) se presenta un comparativo de las mediciones de O₂, LEL y CO de las minas de Paipa, en relación con las mediciones del presente estudio. Es importante señalar que Paipa y Tópaga son municipios del departamento de Boyacá.

Las mediciones registradas en la [Tabla 6](#) indican que es mayor el porcentaje de oxígeno en las minas de Tópaga en comparación con las de Paipa. Sin embargo, en ambos municipios hay minas con atmósferas deficientes de oxígeno y en ninguno de los dos casos se encuentran atmósferas sobreoxigenadas. Por otra parte, se encuentra que el porcentaje del LEL de las minas de Tópaga es mayor al de las minas de Paipa, aunque estos valores están muy

Tabla 5.
Comparación de resultados entre las etapas 1 y 2 del presente estudio

Fuente	O ₂ <19,5%	O ₂ >23%	LEL >10%	CO > 25 ppm	H ₂ S > 1 ppm	SO ₂ > 0,25 ppm
Cuestionario INSHT	25% de las minas	20% de las minas	15% de las minas	20% de las minas	20% de las minas	-
Monitores de gas	25% de las minas	5% de las minas	0% de las minas	15% de las minas	20% de las minas	20% de las minas

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.
Comparativo de mediciones de gases en minas de carbón de Tópaga y Paipa

Lugar	Medida	O ₂ %	LEL %	CO ppm
Tópaga	Rango	17,8 – 23,3	0 - 8	0 - 30
	Promedio	20,36	0,97	7,60
Paipa	Rango	15 – 19,5	-	35 - 40
	Promedio	-	0,7 (metano)	-

Fuente: Adaptado de Vega (2001), citado por [Ospina, Manrique y Guío \(2010\)](#).

por debajo del LEL definido por el [Ministerio de Trabajo en la Resolución 0491 \(2020\)](#). Finalmente, en cuanto al monóxido de carbono se tiene que es mayor en las minas de Paipa. Sin embargo, en ambos municipios hay minas que superan los valores límites permisibles para este químico.

A nivel general se puede establecer que estos dos estudios exponen resultados similares en las mediciones de gases presentes en las minas de carbón. Por otro lado, hay que agregar que pasados veinte años entre un estudio y el otro, las condiciones de seguridad y salud siguen siendo desfavorables para los mineros.

5. Conclusiones

El cuestionario utilizado para la identificación y prevención del riesgo en espacios confinados, desarrollado por el INSHT ([Berlana, 2008](#)), permitió determinar la presencia de agentes químicos y atmósferas explosivas de una manera amplia y rápida. En general, se encontró que las condiciones de trabajo en las minas de Tópaga son inadecuadas para la seguridad y para la salud de los mineros.

De acuerdo con las mediciones atmosféricas realizadas, se pudo establecer que el 30% de las minas tienen atmósferas peligrosas. Ante esta situación, se requiere de manera urgente implementar las recomendaciones dadas, así como dar cumplimiento a los requisitos mínimos de seguridad para el desarrollo de trabajos en espacios confinados de la [Resolución 0491 del 2020](#), el [Decreto 1886 del 2015](#) y demás normativa orientada a la prevención de enfermedades y accidentes de trabajo en la actividad minera.

Siguiendo los resultados presentados, se puede establecer que las minas de carbón del municipio de Tópaga (Boyacá) son espacios confinados clasificados como de Tipo 2 por contar con pequeñas aberturas de entrada y salida, y de Grado A por su alto nivel de peligro para la vida de los trabajadores. Además, se puede afirmar que contienen atmósferas peligrosas debido a su alto nivel de toxicidad y a deficiencias de oxígeno.

Teniendo en cuenta las condiciones desfavorables identificadas en las minas de carbón de Tópaga, relacionadas con la presencia de contaminantes químicos y atmósferas explosivas, es necesario fortalecer el apoyo, seguimiento y control por parte de entidades competentes como los Ministerios de Trabajo, Salud y Protección Social, Minas y Energía, y la Agencia Nacional de Minería, con el objetivo de controlar los factores que pueden afectar la seguridad y salud de los trabajadores mineros.

Se recomienda replicar esta investigación en otras zonas de Boyacá y Colombia con actividad minera, con el objetivo de identificar atmósferas peligrosas y reducir la exposición de los mineros a estos factores de riesgo, contribuyendo así en la búsqueda de su bienestar y calidad de vida, especialmente entre los mineros que se dedican a la explotación subterránea de carbón. ≡

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias bibliográficas

1. AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA - ANM. Estadísticas de emergencias y fatalidades mineras durante los años 2005 – 2019. Bogotá: ANM, 2020. 14 p. https://www.anm.gov.co/?q=emergencias_mineras
2. ALIANZA POR LA MINERÍA RESPONSABLE. Cartilla 2 Aspectos técnicos de la formalización. *Envigado: 2016. 62 p.* <https://www.responsablemines.org/wp-content/uploads/2017/05/03-07-2017-Somos-Tesoro-Cartilla-2.pdf>
3. BERLANA, Tania. Identificación y prevención del riesgo en espacios confinados. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Madrid: INSHT, 2008. 42 p. <https://www.insst.es/documentacion/catalogo-de-publicaciones/identificacion-y-prevencion-del-riesgo-en-espacios-confinados>
4. COLOMBIA. ASAMBLEA DEPARTAMENTAL DE BOYACÁ. Ordenanza 06. (3, junio, 2020). Por la cual se adopta el plan departamental de desarrollo de Boyacá – pacto social por Boyacá: tierra que sigue avanzando 2020-2023. Tunja, 2020. p. 1-407. https://asamblea-de-boyaca.micolombiadigital.gov.co/sites/asamblea-de-boyaca/content/files/000488/24351_ordenanza-006---pdd-2020-2023-plan-de-desarrollo-2020-2023_compressed.pdf
5. COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto 1886. (21, septiembre, 2015). Por el cual se establece el reglamento de seguridad en las labores mineras subterráneas. Bogotá, 2015. 80 p. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=65325>
6. COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Censo Minero Departamental 2010–2011. Bogotá: El Ministerio, 2012. 40 p. <https://>

- www.minenergia.gov.co/documents/10180/698204/CensoMinero.pdf/093cec57-05e8-416b-8e0c-5e4f7c1d6820
7. COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Glosario Técnico Minero. Bogotá: El Ministerio, 2003. 168 p. <https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf>
 8. COLOMBIA. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA. Decreto 2222. (5 de noviembre, 1993). Por el cual se expide el reglamento de higiene y seguridad en las labores mineras a cielo abierto. Diario Oficial. Bogotá, 1993. No. 41104. 76 p. https://www.anm.gov.co/sites/default/files/decreto_2222_de_1993.pdf
 9. COLOMBIA. MINISTERIO DE COMERCIO, INDUSTRIA Y TURISMO. Minas dedicadas a la explotación de carbón en Tópaga, Boyacá [conjunto de datos]. Bogotá: Datos abiertos, 2018. 72 filas de datos aportadas por la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. <https://www.datos.gov.co/Comercio-Industria-y-Turismo/MINAS-DEDICADAS-A-LA-EXPLORACION-DE-CARBON-EN-TOPAGA-BOYACA/yf8i-upmg>
 10. COLOMBIA. UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME. Plan nacional de desarrollo minero con horizonte a 2025 Minería responsable con el territorio. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía, 2017. 174 p. https://www.upme.gov.co/simco/Planeacion-Sector/Documents/PNDM_Dic2017.pdf
 11. COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 90708. (30, agosto, 2013). Por la cual se expide el reglamento técnico de instalaciones eléctricas – RETIE. Diario Oficial. Bogotá: El Ministerio, 2013. No. 48904. 266 p. https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/22726-Resolucion_9_0708_de_agosto_30_de_2013_expedicion_RETIE_2013.pdf
 12. COLOMBIA. MINISTERIO DEL TRABAJO. Decreto 1477. (5, agosto, 2014). Por el cual se expide la tabla de enfermedades laborales. Bogotá, 2014. 109 p. https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/36482/decreto_1477_del_5_de_agosto_de_2014.pdf/b526be63-28ee-8a0d-9014-8b5d7b299500
 13. COLOMBIA. MINISTERIO DEL TRABAJO. Resolución 0491. (24, febrero, 2020). Por la cual se establecen los requisitos mínimos de seguridad para el desarrollo de trabajos en espacios confinados y se dictan otras disposiciones. Bogotá, D.C., 2020. 48 p. <https://ccs.org.co/wp-content/uploads/2020/02/Resolucion-0491-del-2020-REGLAMENTO-TRABAJO-SDEGURO-EN-ESPACIOS-CONFINADOS.pdf>
 14. GUTIÉRREZ, Ana. Guía técnica para el análisis de exposición a factores de riesgo ocupacional en el proceso de evaluación para la calificación de origen de la enfermedad profesional. Bogotá: Ministerio de la Protección Social, 2011. 178 p. ISBN 978-958-8361-71-0. https://comunicandosalud.com/wp-content/uploads/2019/06/guia_exposicion_factores_riesgo_ocupacional.pdf
 15. OSPINA, Juan; MANRIQUE, Fred; GUÍO, José. Salud y trabajo: minería artesanal del carbón en Paipa, Colombia. En: Avances en Enfermería. Enero-junio, 2010, vol. 28, no. 1, p. 107-115. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/avenferm/article/view/15660/16442>. ISSN 2346-0261
 16. RAMÍREZ, Carlos; GONZÁLEZ, Miguel. Diagnóstico de la accidentalidad en la pequeña y mediana minería subterránea de la provincia del Sugamuxi. Trabajo de grado Ingeniería de Minas. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad Seccional Sogamoso. Escuela de Ingeniería de Minas, 2016. 113 p. <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/1610>