

**ESTADO DEL ARTE DE LOS CONTROLES A LA EXPOSICIÓN A
POLVO DE CARBÓN EN TRABAJADORES DE MINAS DE
SOCAVÓN: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DESDE LA
PERSPECTIVA DE LA HIGIENE INDUSTRIAL**

Cesar Augusto Granados Manosalva

Universidad El Bosque

Facultad de medicina

Especialización en salud ocupacional

Bogotá; Colombia

2019

**ESTADO DEL ARTE DE LOS CONTROLES A LA EXPOSICIÓN A
POLVO DE CARBÓN EN TRABAJADORES DE MINAS DE
SOCAVÓN: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DESDE LA
PERSPECTIVA DE LA HIGIENE INDUSTRIAL**

Cesar Augusto Granados Manosalva

Trabajo de grado como requisito para optar al título de:

Especialista en Salud Ocupacional

Directora:

Ing. Lidy Yadira Cetina Castillo

Línea de investigación: Exposición ocupacional y efectos en salud

Universidad El Bosque

Facultad de medicina

Especialización en salud ocupacional

Bogotá; Colombia

2019

Página de aprobación (se anexa original)

Nota de salvedad de responsabilidad institucional

“La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia”.

Tabla de contenido

1.	<i>INTRODUCCIÓN</i>	13
2.	<i>DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</i>	16
3.	<i>JUSTIFICACIÓN</i>	23
4.	<i>OBJETIVOS</i>	26
4.1.	<i>Objetivo General</i>	26
4.2.	<i>Objetivos específicos:</i>	26
5.	<i>MARCO CONCEPTUAL</i>	27
5.1.	<i>El estado del arte y la revisión sistemática como herramientas de investigación</i> 27	
5.1.1.	<i>Estado del arte</i>	27
5.1.2.	<i>Revisión sistemática</i>	29
5.2.	<i>Generalidades de la higiene industrial</i>	30
5.2.1.	<i>Ambiente de trabajo o condiciones de trabajo</i>	30
5.2.2.	<i>Enfermedades Laborales</i>	31
5.3.	<i>¿Qué es el carbón y el polvo de carbón en las minas de socavón?</i>	32
6.	<i>METODOLOGÍA</i>	38
6.1.	<i>Tipo y método de Estudio</i>	38
6.2.	<i>Universo de estudio</i>	39
6.3.	<i>Población de estudio</i>	40
6.4.	<i>Criterios de inclusión y exclusión</i>	40
6.5.	<i>Manejo y plan de análisis de la información</i>	41
6.6.	<i>Herramientas o instrumentos de investigación</i>	44
6.7.	<i>Consideraciones éticas</i>	46
7.	<i>RESULTADOS</i>	48
7.1.	<i>Resultados de la revisión bibliográfica</i>	48
7.2.	<i>Esquema conceptual</i>	64
7.2.1.	<i>Contextualización del sector minero de carbón en Colombia</i>	64

7.2.1.1.	<i>Industria minera del Carbón en Colombia</i>	64
7.2.1.2.	<i>Clasificación de las labores mineras subterráneas de carbón</i>	65
7.2.1.3.	<i>Proceso productivo para extracción de carbón de socavón o subterráneo</i>	67
7.2.1.4.	<i>Métodos de extracción en la minería subterránea (78, 79, 80)</i>	80
7.2.1.5.	<i>Operaciones auxiliares y unitarias en las minas de socavón:</i>	84
7.2.2.	<i>Caracterización de la organización del trabajo minero</i>	85
7.2.2.1.	<i>Gestión organizacional</i>	85
7.2.2.2.	<i>Características de la organización del trabajo:</i>	87
7.2.2.3.	<i>Características del grupo social que trabaja en la minería de carbón de socavón</i>	92
7.2.2.4.	<i>Condiciones de la tarea minera de socavón</i>	95
7.2.3.	<i>Peligros y factores de riesgo asociados a la exposición al polvo de carbón desde una perspectiva de la higiene industrial</i>	98
7.2.4.	<i>Normatividad relacionada con la minería de carbón</i>	104
7.2.5.	<i>Controles a la exposición al polvo de carbón en minas de socavón:</i>	109
8.	<i>DISCUSION</i>	¡Error! Marcador no definido.
9.	<i>CONCLUSIONES</i>	132
10.	<i>RECOMENDACIONES</i>	135
11.	<i>FUTURAS PREGUNTAS DE INVESTIGACION</i>	137
12.	<i>ANEXO I</i>	138
13.	<i>REFERENCIAS</i>	138

Lista de Gráficas

<i>Figura 1 Estructura de las entidades mineras en Colombia</i>	17
<i>Figura 2. Fatalidades registradas al cierre de julio de 2019 de acuerdo con tipo de mineral extraído</i>	19
<i>Figura 3. Predominancia de Neumoconiosis en trabajadores por tiempo de exposición al polvo de carbón.</i>	21
<i>Figura 4. Producción de carbón en Colombia entre 1980 y 2011</i>	33
<i>Figura 5. Toma de muestra de polvo de carbón en mina de socavón</i>	35
<i>Figura 6. Distribución de documentos seleccionados y descartados según tipo de documento.</i>	51
<i>Figura 7. Distribución de Efectividad de las herramientas de búsqueda respecto al número total de documentos preseleccionados</i>	57
<i>Figura 8. Número de documentos seleccionados que aportaban al estudio según categorización y tipo de documento.</i>	60
<i>Figura 9. Número de documentos por año de publicación según tipo de documento</i>	63
<i>Figura 10. Representación de mina subterránea de carbón</i>	69
<i>Figura 11. Pasos del proceso minero</i>	70
<i>Figura 12. Dotación de personal a cargo en la actividad de perforación</i>	72
<i>Figura 13. Técnica de explotación por cámaras y pilares</i>	81
<i>Figura 14. Estructura organizacional básica de una mina</i>	86
<i>Figura 15. Mangas de ventilación en una mina de socavón</i>	112
<i>Figura 16. Alistamiento de explosivos en una mina de socavón.</i>	119
<i>Figura 17. Explosímetro.</i>	120

Lista de Tablas

<i>Tabla 1. Matriz de entregables por objetivos planteados</i>	43
<i>Tabla 2. Distribución de documentos seleccionados que aportaron a los resultados del estudio según tipo de documento.....</i>	52
<i>Tabla 3. Número de documentos y distribución de descartados según tipo de documento.....</i>	53
<i>Tabla 4. Número de documentos seleccionados según Herramienta de búsqueda</i>	55
<i>Tabla 5. Número de documentos seleccionados según número de categorías aplicables.....</i>	58
<i>Tabla 6. Número de documentos excluidos según razón de exclusión</i>	59
<i>Tabla 7. Número de documentos seleccionados de acuerdo con las categorías de estudio, según tipo de documento.</i>	61
<i>Tabla 8. Número de documentos seleccionados por año de publicación según tipo de documento</i>	62
<i>Tabla 9. Valores mínimos permisibles de gases contaminantes en minería.....</i>	78
<i>Tabla 10. Cargos en los frentes de una mina de Carbón con la descripción de sus tareas y características del puesto.</i>	96
<i>Tabla 11. Niveles máximos permisibles según la resolución 2254 de 2017 para material particulado y tiempo de exposición</i>	97
<i>Tabla 12. Porcentaje de enfermedades reportadas en 2017 en Colombia en el sector de minas y canteras.....</i>	102
<i>Tabla 13. Guía para la evaluación de riesgos propuesta por la OIT.....</i>	103
<i>Tabla 14. Matriz de normatividad asociada a la minería.</i>	105
<i>Tabla 15. Equipos de medición y su descripción para los diferentes datos de ventilación.....</i>	113

RESUMEN

El polvo de carbón resultante de la labor minera de carbón en socavón, es un factor de riesgo para la salud de los mineros, es el responsable del deterioro de la función pulmonar, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (**EPOC**), la enfermedad pulmonar restrictiva y la neumoconiosis. Se hace indispensable el rigor de la normatividad, la aplicación de controles efectivos a través de un sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (**SG-SST**) con un seguimiento de auditoría exigente. El estado del arte sobre los controles a la exposición al polvo de carbón desde una perspectiva de la higiene industrial, realiza un aporte significativo, a través de una revisión y análisis metódico, sistemático y ordenado de documentos científicos que brinden información sobre la descripción de los contextos laborales mineros, la normatividad, los riesgos asociados al polvo de carbón y los respectivos controles que se están realizando en los lugares de trabajo y a las personas. Se detectaron documentos a partir de 2010, exceptuando aquellos que implicaban normatividad colombiana y de organismos internacionales que consolidan datos de la minería de socavón, los cuales podían abarcar información sobre normas y técnicas vigentes en el sector minero, la información se clasificó y sistematizó en una matriz de contenido de Excel (anexo 1) para luego categorizarla y determinar aquellos documentos que aportaban significativamente al estudio, se encontraron 108 documentos, un 81,2% de los preseleccionados, donde

un gran porcentaje de información relevante está contenida en artículos e informes de organismos internacionales de carácter científico y tesis de repositorios de universidades, este último recurso con un 24,07% es donde se encontró un aporte valioso y significativo con respecto a la minería de carbón en pequeñas y medianas empresas mineras colombiana desde el punto de vista de la higiene industrial a través de la implementación de un SG-SST y controles al polvo de carbón.

Palabras clave: Polvo de carbón, jerarquía de controles, minería subterránea, higiene industrial.

ABSTRACT

The coal dust resulting from mining work in underground, is a risk factor for the health of miners, is responsible for the deterioration of lung function, chronic obstructive pulmonary disease (COPD), restrictive lung disease and pneumoconiosis. The rigor of regulations is essential, the application of effective controls through an Occupational Health and Safety Management (SG-SST) system with a demanding audit follow-up. The state of the art on controls for exposure to coal dust from an industrial hygiene perspective, makes a significant contribution, through a systematic, systematic and orderly review and analysis of scientific documents that provide information on the description of mining labor contexts, regulations, risks associated with coal dust and the respective controls that are being carried out in the workplace and people. Documents were detected as of 2010, except for those that implied Colombian regulations and international organizations that consolidate data from the underground mining of underground which could cover information on standards and techniques in force in the mining sector, the information was classified and systematized in a Excel content matrix (appendix 1) to then categorize it and determine those documents that contributed significantly to the study, 108 documents were found, 81.2% of those selected preliminary, where a large percentage of relevant information is contained in articles and reports of international scientific

organizations and thesis of university repositories, this last resource with 24.07% is where a valuable and significant contribution was found regarding coal mining in small and medium-sized Colombian mining companies from the point of view of industrial hygiene through of the implementation of an S G-SST and controls to coal dust.

Keywords: Coal dust, underground mines, industrial hygiene, mining regulations.

1. INTRODUCCIÓN

La minería de carbón de socavón en Colombia se concentra en la región andina colombiana; principalmente, en los departamentos de Antioquía, Norte de Santander, Cundinamarca y Boyacá, representa una actividad de alto riesgo para quienes allí laboran, de acuerdo con la Agencia Nacional Minera (**ANM**) (1) que atiende accidentalidad y fatalidades en estos contextos, refiere estadísticas de 2005 a 2019; reportando que la minería de carbón representa en emergencias un 77,04% y en fatalidades un 72,85%; ahora bien, este instituto de la minería señala que la minería subterránea en emergencias reporta un 93,42% y en fatalidades un 87,5%. Con respecto a los departamentos mencionados; precisamente, son estos los que representan un alto porcentaje en las emergencias, solo en el 2019 al cierre de julio con un total de 70 emergencias, las estadísticas refieren; Antioquía con un 10%, Cundinamarca 18,57%, Boyacá que es uno de los departamentos con mayor producción y minería de carbón de socavón, tiene un 32,855 y Norte de Santander un 18,57%. Señalando las fatalidades al cierre de julio de 2019 con 53 casos en la minería, Boyacá tiene la más alta predominancia con un 30,18%.

Las estadísticas presentadas generan preocupación, denotan que no hay cambios significativos en la disminución de la accidentalidad; lo cual infiere, la necesidad de establecer rigor en el cumplimiento de las normatividades y legalidad minera, vigilancia a través de auditorías, investigaciones aplicables a estos ambientes de trabajo y presencia de

acciones de control y prevención de higiene industrial que minimicen el impacto de la actividad minera en la salud y vida de los trabajadores.

La minería de Socavón de acuerdo con las definiciones técnicas mineras que dispuso el gobierno colombiano en la ley 685 de agosto de 2001, en el artículo 68 y a través del Ministerio de Minas y Energía (**MinMinas**) (2), hace referencia a “labor labrada en la ladera de un cerro y que se interna hacia su interior en forma paralela hacia el horizonte” (2) p. 147, se caracteriza porque se desarrolla de manera subterránea, donde existe un único acceso que comunica los frentes de trabajo con el exterior. En los frentes de trabajo, laboran los mineros, quienes realizan la explotación del carbón ya sea usando maquinaria o métodos manuales que les facilitan la extracción del material que luego es enviado al exterior, para su posterior selección.

En el proceso de extracción, transporte y procesamiento de carbón en minas con características subterráneas, se percibe un alto riesgo para la salud y seguridad de los trabajadores; según la Organización Internacional del Trabajo, **OIT** (3), dentro de los múltiples riesgos, se encuentra la exposición al polvo de carbón y sílice cristalina (SiO_2), los cuales son generados en el momento de romper las rocas al interior de las minas; estos agentes, al ser inhalados por una persona, se convierten en un riesgo toxicológico; en el caso del polvo de carbón, Álvarez, Conti, Valderrama, Moreno y Jiménez (4), mencionan que es un agente físico, sólido, que constituye un fibrógeno, su penetración profunda en las vías respiratorias se da cuando las partículas son de un diámetro inferior a cinco micras, lo que conlleva a enfermedades del sistema pulmonar a corto y a largo plazo; como pueden ser, silicosis y neumoconiosis, donde su fuente de exposición es exclusiva del ámbito

laboral (5)(6), según Martínez (7) actualmente no se cuenta con un tratamiento eficaz, de manera que, la mejor intervención hace referencia a la prevención.

El presente trabajo de investigación es de corte cualitativo documental con una metodología del estado del arte que pretende evidenciar los controles que se han definido tanto a nivel normativo como técnico con respecto a la exposición de polvo de carbón en trabajadores de minas de socavón en Colombia. Para ello, se realizó una revisión documental metódica, sistemática y ordenada que como unidades de análisis observables y medibles; lleve a comprender la realidad objetiva desde una perspectiva de la higiene industrial de los principales requisitos normativos aplicables a la minería de carbón en socavón, una descripción de su proceso productivo, controles que minimicen el impacto negativo en la salud; así como, la definición de los factores de riesgo asociados al polvo de carbón en esta actividad minera.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Teniendo en cuenta el nivel de peligrosidad que implica la actividad minera, la **OIT** mantiene alerta con la actualización y seguimiento de estadísticas que les permita prevenir y mejorar las condiciones laborales que rodean dicha actividad; del mismo modo, brinda apoyo al desarrollo laboral y social; sin embargo, es necesario entender la responsabilidad social conjunta que demanda de parte de otras entidades gubernamentales, instituciones universitarias, organizaciones mundiales, empleadores y los mismos trabajadores para reducir el impacto negativo que repercute en la salud y vida del minero, dentro del que se encuentra, la neumoconiosis, resultado de la sobreexposición al polvo de carbón, la cual tiene incidencias graves y repercusiones que afectan de manera permanente al trabajador, cuando se contrae dicha enfermedad.

La **OIT** señala que: “La minería representa alrededor del uno por ciento de la fuerza de trabajo mundial, unos 30 millones de personas, de los cuales unos 10 millones trabajan en la producción de carbón, se estima que otros seis millones de personas trabajan en la minería de pequeña escala” (8) p.1.

El gobierno colombiano intenta reunir estadísticas que le permitan realizar una medición cuantitativa y objetiva a través de sus entidades de apoyo que son administradas por el **MinMinas**; la figura 1 (9), indica la estructura que se estableció con el decreto 0381 de 2012 de las entidades mineras en Colombia.

Figura 1 Estructura de las entidades mineras en Colombia



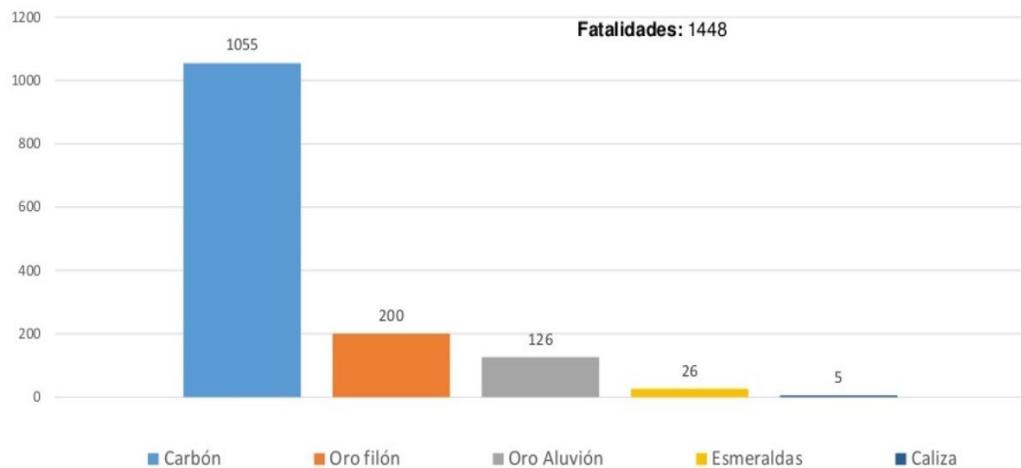
Fuente: MinMinas, s.f. (9)

Las cifras son importantes porque permiten tomar decisiones y reinventar la manera de gestionar la actividad minera; sin embargo, no solo se puede responder al crecimiento económico y regalías para el país; que señalaron, de acuerdo con cifras de la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (**DIAN**) presentadas por García (10), un aporte entre los años 2004 y 2013 de USD 11,1 billones; y una producción de carbón de 60 millones de toneladas (11); también, se hace indispensable el rigor con las reglas establecidas para la gestión y la legalidad minera, donde se priorice con urgencia la atención a la seguridad y salud de los trabajadores en sus contextos sociolaborales que impliquen la disminución de

incidentes, enfermedades, accidentes y muertes, propendiendo siempre por la prevención y mejoramiento de su salud y bienestar.

En el decreto 1886 de 21 de septiembre de 2015 (12) se instauró el reglamento de seguridad de las actividades mineras subterráneas, el cual fue construido de manera conjunta, entre el **MinMinas**, el Ministerio del trabajo (**Mintrabajo**) y el Ministerio de salud (**MinSalud**) en Colombia, una de las problemáticas que se enmarca en los reglamentos, es la concentración de información en el papel, debido a que el seguimiento, vigilancia y control se perciben deficientes, manifestado en las cifras alarmantes de minería ilegal, accidentalidad, enfermedades y fallecimientos, como lo indican las estadísticas presentadas por la Agencia Nacional de Minería (**ANM**) en la figura 2 (1), las mayores fatalidades registradas a julio de 2019, corresponden a la explotación del carbón con un 72,85%, las emergencias presentadas en el tipo de minería subterránea en el mismo año, registra un 93,42% y las fatalidades un 84%. La causa de fatalidad con mayor predominancia, con un 26%, refiere a la explosión, la cual; se debe a explosivos, polvo de carbón y concentración de gases explosivos.

Figura 2. Fatalidades registradas al cierre de julio de 2019 de acuerdo con tipo de mineral extraído



Fuente: ANM, 2019 (1).

El centro para el control y prevención de enfermedades (**CDC**) menciona que la sobreexposición al polvo de carbón es una amenaza latente para la salud de los trabajadores mineros, quienes pueden padecer neumoconiosis, llamada también “la enfermedad del pulmón negro” (13), lo más difícil, es entender que contraída la enfermedad, ya no hay cura, es crónica e irreversible; de manera que, el trabajador es afectado en sus dimensiones biopsicosociales, debido a que, la enfermedad es discapacitante; además, esta complejidad involucra índices de salud pública preocupantes en regiones que generalmente se caracterizan por no tener las condiciones de salubridad, económicas y sociales favorables.

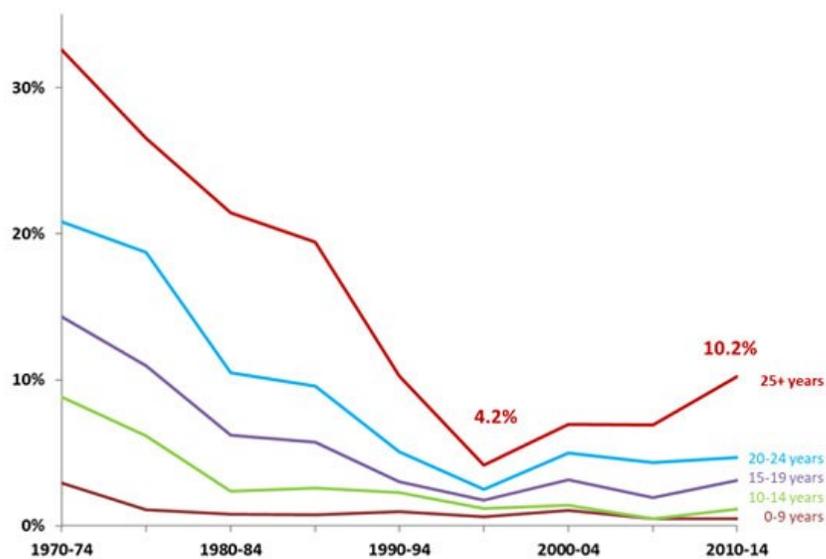
Un estudio realizado por Cely, García y Manrique (14) en dos municipios de Boyacá, revelaron las características sociodemográficas predominantes en zonas mineras, encontrando que, de 151 personas entrevistadas, el 74,2% tenía procedencia de áreas rurales, 58,3% pertenecía al estrato 1 y 41,1% al estrato dos; así mismo, se detectó que no cuentan con acueducto un 25,8 % y 69,5% no tiene alcantarillado, en cuanto a la recolección de basuras, está ausente en un 68,9% de los entrevistados, las cifras anteriores, representan condiciones que no aportan favorablemente a la salubridad y mejoramiento de las problemáticas que representa el contexto de los trabajadores de minas de socavón y; más aún, si pensamos en esas condiciones de vivienda de personas que ya han contraído enfermedades pulmonares por sobreexposición al polvo de carbón.

Implementar controles de reducción a la exposición implica costos; principalmente, en lo que respecta a la minería ilegal, se convierte en una odisea, más aún cuando determinar las partículas de polvo de carbón por los trabajadores, sin contar con los instrumentos tecnológicos debidos, es casi imposible, lo cual no favorece para el establecimiento de un control que permita la disminución del impacto que causa la exposición a polvo de carbón en minas de socavón, aumentando las cifras de enfermedad.

La figura 3 (13) nos indica las cifras reportadas de mineros con neumoconiosis por cantidad de años trabajados, datos referidos por el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (**NIOSH**), a través del programa Sistema de consulta de datos del programa de vigilancia de la salud de los trabajadores del carbón (**CWHSP**) (15), el cual pretende servir de control para evitar que los trabajadores mineros tengan evoluciones incapacitantes por el polvo de carbón; aunque se percibió una reducción importante en el

año 1999, se visualiza un aumento relevante hacia el año 2004 en trabajadores que han permanecido en labor y contacto con el polvo de carbón por más de 25 años.

Figura 3. Predominancia de Neumoconiosis en trabajadores por tiempo de exposición al polvo de carbón.



Fuente: CDC, 2018 (13)

En 2017 el **Mintrabajo** (16) capacitó en seguridad y salud a 30 inspectores de vigilancia y control en el Servicio Nacional De Aprendizaje (**SENA**), quienes apoyan en zonas de jurisdicción de actividad minera, una buena intención; sin embargo, aún este esfuerzo requiere de concientización e inversión por parte de los empresarios, de manera que se humanice el sector minero y lo que se relaciona con la actividad, sobre todo cuando aumenta la presencia de personal muy joven.

Es predominante la exposición a riesgos de los trabajadores en sus lugares de actividad económica, los cuales como menciona Álvarez y Faizal (17) pueden ser físicos, químicos, biológicos, psicosociales y ergonómicos. Es indispensable la investigación para poder actualizar controles y diagnósticos continuos que permitan minimizar las afectaciones a los trabajadores, con el fin de evitarlos y/o eliminarlos.

Dentro de los controles se hace necesario la ejecución de auditorías que permitan el monitoreo objetivo y permanente del polvo de carbón respirable en las minas subterráneas, se luche por realizar correcciones preventivas y hacer mantenimiento a las deficiencias identificadas, pero, lo más importante, erradicar la ilegalidad para que dichos controles y normativas establecidas sean puestas en marcha en todas las actividades mineras en diferentes escalas.

3. JUSTIFICACIÓN

La actividad minera en Colombia ocupa el segundo lugar en cifras de accidentalidad reportadas al **Mintrabajo** (18), este sector clasificado con un riesgo V; es decir, como riesgo máximo, determinado por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social en el decreto 1607 de 2002 (19), el cual en 2019 está teniendo una actualización que no ha sido decretada (20), es uno de tantos sectores que está obligado a implementar un Sistema General de Seguridad y Salud en el Trabajo (**SG-SST**), que es un sistema basado en la mejora continua, el cual, en su desarrollo, aplicación y ejecución apoya de manera positiva en la manera de actuar durante el proceso de las actividades laborales de minería; así, todos los que laboran tendrán la posibilidad de anticiparse, identificar, evaluar y controlar aquellos riesgos que pueden afectar las condiciones en que se trabaja.

La batuta de este sistema la debe llevar el dueño o quien sea responsable de la mina para que se establezcan las condiciones adecuadas y pueda realizar la respectiva vigilancia y control que hagan de la minería una actividad segura.

Uno de los tantos riesgos para la salud de los mineros de carbón de socavón, implica la sobreexposición al polvo de carbón, el cual se expulsa por la propia acción de trabajo que realizan los mineros o explosiones repentinas; así, la naturaleza del trabajo y el entorno que lo rodea, no permite con la aplicación de controles, eliminar en un 100% los agentes; sin embargo, es posible involucrar acciones que minimicen el impacto en la salud laboral, adoptando medidas de prevención adecuadas. Dentro de las acciones de control que se

pueden llevar están la implementación del **SG–SST**, contar con las herramientas tecnológicas que permitan el seguimiento a la exposición a polvo respirable; como, por ejemplo, el monitor personal continuo de polvo, el cual es un equipo que permite hacer seguimiento a la exposición en los turnos de trabajo, controlando, para no exceder los límites permisibles de exposición, siendo un control que se convierte en una barrera inicial de prevención que minimice las problemáticas de salud a largo plazo.

Con respecto a la sobreexposición al polvo de carbón, existen múltiples investigaciones que refieren y validan la neumoconiosis como enfermedad resultado de la actividad minera, lo cual está cobrando muchas vidas y una calidad de vida y bienestar de los mineros que empeora a largo plazo (5, 6, 7, 8, 13, 14, 17, 18, 21, 22). Esta enfermedad al ser adquirida por la sobreexposición al polvo de carbón, es irreversible, las posibilidades terapéuticas son limitadas, afecta no solo al trabajador, también a sus familias, convirtiéndose en una problemática para la salud pública. Otras patologías asociadas a la inhalación de partículas de polvo de carbón son de acuerdo con Escribano y Vaquero (21), la enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (**EPOC**), esclerodermia, silicotuberculosis, cáncer de pulmón, entre otras.

El llamado a prestar atención al sector minero, es para el gobierno y sus instituciones para que regulen, vigilen y auditen de manera continua la minería, en lo que respecta a sus actividades laborales, haciendo que se cumplan las normas, se acabe la ilegalidad, el abuso, y demás problemáticas que encierran este sector; Las universidades e instituciones de investigación, que con su conocimiento científico puedan aportar al desarrollo de nuevas tecnologías y prácticas, que estén al alcance de quienes desarrollan la minería, en aspectos como un lenguaje comprensible, educación, responsabilidad social que conlleve a ser

amigables con el medio ambiente; los empresarios, que tienen como deber, mantenerse actualizados, invertir en tecnología y equipos de seguridad en su mina, hacer seguimiento médico ocupacional y toxicológico a sus trabajadores, dotarlos de los elementos de protección personal (**EPP**) reglamentarios para la ejecución de labores y asumir una responsabilidad social empresarial que sea beneficiosa para el sector minero; y, los trabajadores y sus familias para que rechacen las labores mineras ilegales, cumplan con los requerimientos de trabajo, apliquen lo aprendido en las capacitaciones, exijan y usen los **EPP** y asuman comportamientos adecuados para hacer de la labor, un espacio activo que minimice de la manera más posible, los riesgos que implican la actividad minera.

Este trabajo de investigación pretende realizar un aporte significativo desde una perspectiva de la higiene industrial a los involucrados en tomar acciones y controles referidos a la realidad objetiva de la exposición al polvo de carbón en minas de socavón, a través de una revisión y análisis metódico, sistemático y ordenado de documentos suministrados en bases de datos, artículos, trabajos de investigación, tesis, libros y otros referentes científicos que brinden información sobre la normatividad, controles que se están realizando en los lugares de trabajo y a las personas y descripción de los contextos laborales mineros donde se evidencia la problemática en torno a la sobreexposición a polvo de carbón de los trabajadores mineros. El presente estado del arte se enmarca en el grupo de investigación salud, ser humano y trabajo de la Facultad de Medicina de la Universidad el Bosque (**UEB**), en la línea de investigación: exposición ocupacional y efectos en salud, de la especialización en Salud Ocupacional, respaldo que permite la contribución a la disciplina, el fortalecimiento del desarrollo investigativo y un nuevo referente documental

para aportar en programas de vigilancia y control en la salud pública y de los trabajadores del sector minero.

Dado lo anterior, el desarrollo de este trabajo pretende dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles son los controles a la exposición a polvo de carbón que se deben implementar en trabajadores de minas de socavón desde una perspectiva de la higiene industrial?

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Realizar un estado de arte sobre los controles a la exposición a polvo de carbón en trabajadores de minas de socavón desde una perspectiva de la higiene industrial.

4.2. Objetivos específicos:

1. Contextualizar el proceso de trabajo y el perfil sociodemográfico de los trabajadores en minas de carbón de socavón.
2. Determinar los factores de riesgo asociados a la exposición al polvo de carbón en minas de socavón.
3. Especificar la normatividad vigente en materia de seguridad, salud e higiene industrial en minería subterránea.

4. Identificar los controles a la exposición a polvo de carbón en trabajadores de minas de socavón desde una perspectiva de la higiene industrial en el análisis de documentos publicados entre 2010 y 2019.

5. MARCO CONCEPTUAL

5.1. El estado del arte y la revisión sistemática como herramientas de investigación

5.1.1. Estado del arte

Un estado del arte es una modalidad de investigación científica que permite realizar un balance de las tendencias de investigación sobre un tema en particular, esta herramienta tiene como objetivo la realización de un inventario para compilar y sistematizar la producción de conocimiento (23), se constituyó en Colombia en la década de los ochenta (24), el desarrollo de un estado de arte implica una metodología de contextualización, clasificación y categorización, cada una de ellas explicada como menciona Calvo en la investigación de Molina (23); donde la contextualización se realiza un análisis del problema de estudio, limitando el desarrollo de la investigación, verificando los recursos documentales y estableciendo los criterios de búsqueda de la información específica sobre el tema en particular.

En la clasificación, que corresponde a una fase analítica de la información donde se establecen los parámetros bajo los cuales se va a realizar la sistematización, se plantean unidades temáticas y reconstrucción teórica, en este paso se van a determinar cuáles son los

documentos que se pretenden estudiar, las disciplinas que estarán inmersas; así como, las líneas de investigación, relevancias cronológicas y alcances y limitaciones. En la categorización, se tiene una compilación de información relevante para poder llevar a cabo el estudio del fenómeno de investigación, dando un tratamiento de jerarquización a la información documental (25).

De otro lado, el estado de arte tiene un carácter crítico interpretativo, es una metodología de investigación cualitativo-documental, utiliza como instrumentos matrices bibliográficas y de análisis de contenido. De acuerdo con Gómez, Galeano y Jaramillo (24), esta metodología consta de las fases de: planeación y diseño, gestión y análisis y formalización y elaboración, refiere que tiene un enfoque hermenéutico, que pretende interpretar el material referencial, hacer una reflexión, crítica y comprensión de textos escritos; de otro lado, su carácter documental busca la revisión sistemática de dicho material para contextualizar el objeto de estudio.

Con lo anterior, Henderson (25) señala, que el estado del arte no puede ser igualado a un marco teórico, debido a que el estado del arte nos conduce al descubrimiento de un nuevo conocimiento referido a los avances científicos más recientes con respecto al objeto de estudio, indicando; autores, fechas, en qué lugares, abordajes metodológicos y científicos, y razones justificadas de dichos abordajes que han servido de andamio para la construcción de documentos y textos referenciados alusivos a la temática abordada, permitiendo dar una solución al problema planteado, haciendo una reflexión y comprensión sobre lo que han elaborado otros investigadores.

5.1.2. Revisión sistemática

En el caso de las revisiones sistemáticas, este concepto nació en el campo de la salud, pero se fue extendiendo a otros campos del conocimiento, y hoy día se conciben como una búsqueda exhaustiva de estudios relevantes sobre un tema, que una vez encontrados, se sintetizan de acuerdo con un método preestablecido, lo cual da una ventaja al lector, ya que le permite poder replicarla y verificar si se llega a la misma conclusión; en este sentido, estas revisiones sistemáticas son concebidas como investigaciones científicas en las cuales se usa un método preconfigurado que permite integrar estadísticas de la información buscada y hallada y que en últimas lleva a un mapeo bibliográfico, concepto que actualmente es afín con la bibliometría o métricas de la información bibliográfica consultada (26) Así, las revisiones sistemáticas, aunque hacen parte de los tipos de las revisiones bibliográficas, se diferencian del resto a partir de una metodología explícita y precisa basada en un protocolo previamente definido, estandarizado y replicable que finiquita en un proceso de decisión en el cual se definen los documentos a incluir en el estudio, como referentes (27).

De acuerdo con lo anterior, se puede inferir que las revisiones sistemáticas permiten realizar revisión de literatura de forma organizada y siguiendo un protocolo, articulándose con los estados del arte, ya que estos son el consolidado de una revisión exhaustiva de trabajos realizados por otros autores acerca de un tema de estudio, que permiten establecer el estado del conocimiento actual de dicho tema y por consiguiente las tendencias del mismo.

5.2. Generalidades de la higiene industrial

Esta profesión vela por la prevención y control de los riesgos que se desencadenan en las labores que realizan las personas en su sitio de trabajo, de manera que, la Higiene industrial tendrá como principal razón, proteger y establecer acciones preventivas y de promoción para que los trabajadores y el entorno que los rodea se preserven seguros bajo un desarrollo ambiental y personal sostenible (28)

El objeto de la Higiene Industrial está enfocado hacia la prevención de enfermedades laborales, razón por la cual se tienen en cuenta las condiciones de trabajo y dentro de estas, los factores ambientales ocasionados por el desarrollo de la actividad laboral, los cuales, si se concentran en el ambiente de trabajo, pueden ocasionar deterioro sobre la salud del trabajador (29). En este sentido, la higiene industrial propende por la formulación e implementación de normas y procedimientos para la protección de la salud mental y física de los trabajadores, siendo un amortiguador que previene y minimiza el riesgo presente en los lugares de trabajo y las tareas que se desarrollan para un adecuado desempeño y contexto laboral seguro (30).

5.2.1. Ambiente de trabajo o condiciones de trabajo

Realizar un diagnóstico de las condiciones o ambiente de trabajo es fundamental cuando se aborda el tema de la higiene industrial, ya que esto permite definir las circunstancias que caracterizan el medio en donde se desempeña el trabajador y que por su naturaleza pueden originar problemas de salud en el mismo, pues están determinadas por las condiciones en el ambiente tales como sustancias, insumos, maquinaria, ruido y contaminantes, así como características psicosociales y expectativas individuales que crean una serie de responsabilidades y presiones sobre el trabajador (31). La higiene industrial posee cuatro

etapas para la evaluación y control de las condiciones del puesto de trabajo, las cuales son: la higiene teórica que se enfoca en los estudios existentes para establecer los límites permisibles de exposición a contaminantes, mientras la higiene de campo se enfoca en desarrollar estudios ambientales que permitan determinar las concentraciones de los contaminantes en dicho lugar de trabajo, que se complementa con la higiene analítica ya que esta se enfoca en medir de forma cualitativa y cuantitativa los contaminantes presentes en el ambiente de trabajo, para dar paso a la higiene operativa que es la que establece medidas de control e intervención que favorezcan en la adecuación de actividades seguras en los ambientes de trabajo del personal que permanece expuesto a situaciones adversas. (32).

5.2.2. *Enfermedades Laborales*

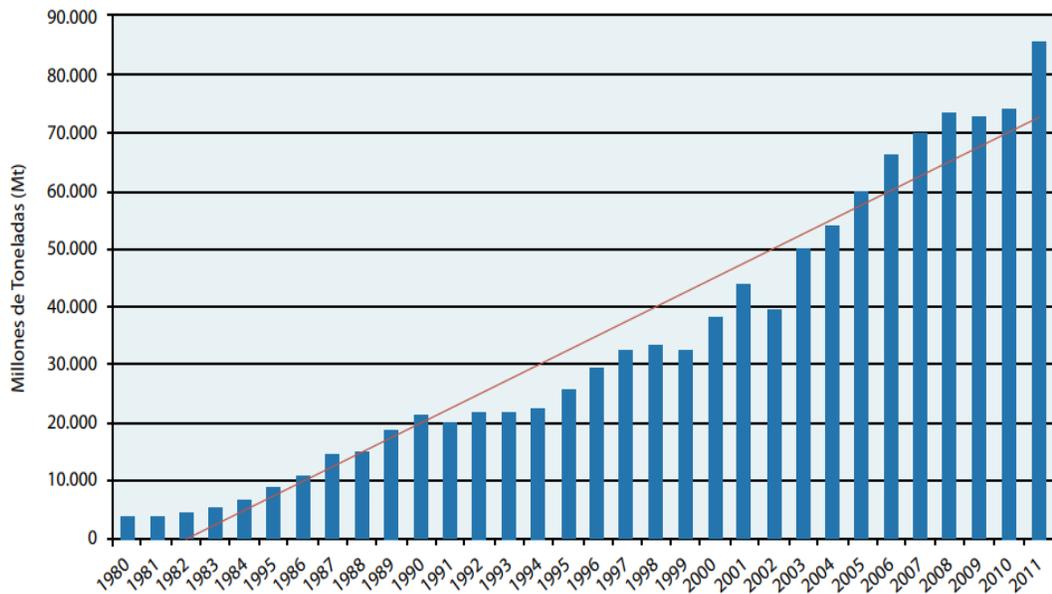
De acuerdo con la **OIT** (33), las enfermedades y accidentes laborales ocasionan 2 millones de muertes que impactan en 1,4% el producto interno bruto global, debido a que las enfermedades laborales afectan negativamente al trabajador y sus familias y se convierten en un indicador negativo para el sistema de salud y la efectividad laboral de la empresa, disminuyendo la capacidad laboral y económica (34). En este sentido, las enfermedades laborales corresponden a un deterioro físico y/o mental de la salud de un trabajador que puede implicar una pérdida anatómica o funcional, resultado de la exposición a factores de riesgo inherentes a la actividad laboral, y que para establecer su origen a nivel individual se requiere establecer la causalidad entre la enfermedad y la exposición del trabajador a determinados agentes peligrosos de su ambiente de trabajo; siendo así, es importante entender que cada sector económico tiene sus particularidades con respecto a los lugares de trabajo y la identificación de riesgos, debido a que, son específicas

las tareas que se desarrollan y no es posible realizar un proceso idéntico para todos los sectores; es por ello, que la OIT (33), recomienda mantener actualizada la lista de enfermedades laborales, debido a que, para cada sector y tarea particular, pueden ocurrir modificaciones que den cuenta del desarrollo de nuevas enfermedades y que van a requerir la atención inmediata de la higiene industrial, con el fin de contrarrestar los daños a futuro para los trabajadores (35).

5.3. ¿Qué es el carbón y el polvo de carbón en las minas de socavón?

El carbón es un combustible fósil, recurso natural no renovable que ocupa el segundo lugar como energético de inmensa importancia en el mundo seguido del petróleo. De acuerdo con la Unidad de Planeación Minero Energética, **UPME**, basados en el pago de regalías, se denota en la figura 4 (36) que cada vez la cifra de producción de carbón en Colombia aumenta; si es así la predominancia a través de los años evaluados, la pertinencia de las acciones para combatir los riesgos, evaluar técnicas de explotación de bajo impacto y proveer controles en la ocupación minera, se hacen un objetivo de extrema prioridad que lleven a una minería con responsabilidad social y ambiental, donde se involucre un exigente **SG-SST**, el cuál no solo debe existir; sino además, hacerle un seguimiento exhaustivo de auditoría que garantice la adecuada implementación y cumplimiento para la mejora continua.

Figura 4. Producción de carbón en Colombia entre 1980 y 2011



Fuente: UPME, 2012 (36)

“El carbón proporciona el 30% de las necesidades energéticas primarias y genera más del 41,1% de la electricidad del mundo. También se utiliza en la producción de más del 70% de acero en el mundo y tiene un papel relevante en la fabricación de cemento y como combustible líquido. Actualmente, el carbón es producido en más de 40 países y es importado por más de 70 naciones” (37).

El polvo de carbón es un material resultante de la manipulación de la misma roca sedimentaria orgánica (carbón), es un elemento físico muy fino que al acumularse puede generar explosión en minas, principalmente de socavón, las razones de este factor de riesgo se deben a que la misma naturaleza del carbón produce una combustión a bajas temperaturas; unido a esto, las minas tienen presencia de oxígeno, altas temperaturas y encierro, lo que las convierte en un riesgo inminente. Una permanente limpieza de las áreas de trabajo mineras, la aplicación de agua y cal pueden contrarrestar la acumulación del polvo de carbón, las cuales son una de las tantas acciones que pueden evitar el riesgo de explosión (38).

De acuerdo con el estudio realizado por Baquero, Blandón, y Molina (39), en los pliegues del carbón se alojan polvos finos que al realizarse un muestreo y análisis de laboratorio dieron como resultado explosividad, de manera que indican la necesidad de aplicar por cada 45 a 15 gramos de polvo, 55 y 85 gramos de caliza en polvo para obtener una mezcla inerte que se convierta en un control al riesgo de explosión en las minas por el polvo de carbón presente.

En la figura 5 (40), se observa la toma de muestra de polvo de carbón para un estudio realizado por la Universidad Nacional de Colombia, en el cual encontraron resultados alarmantes con respecto al riesgo potencial de explosión en las minas de carbón

subterráneas de socavón del país, donde se evaluaron 40 muestras de las mineras más importantes del país, de las cuales, solo dos no mostraron evidencia de peligrosidad.

De otro lado, Álvarez, Arias, Builes, Ordóñez y Zapata (41) encontraron que las estructuras de sostenimiento de los muros, con respecto a las geometrías utilizadas, cuadrada y circular, son generadoras de acumulación de polvo de carbón en el aire, aumentando el riesgo de explosión, de manera que es necesaria la reevaluación en el diseño de estructuras de sostenimiento y; de igual manera, establecer sistemas de ventilación eficientes para mitigar el riesgo y asumir un control adecuado.

Figura 5. Toma de muestra de polvo de carbón en mina de socavón



Fuente: Calle, 2011 (40).

Otro factor de riesgo relacionado al polvo de carbón, es la salud de los trabajadores, quienes, en constante labor de la minería, pueden adquirir enfermedades letales; principalmente, en su sistema respiratorio, entre los que se destacan, se pueden señalar el deterioro de la función pulmonar, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (**EPOC**), la

enfermedad pulmonar restrictiva, la neumoconiosis; además, se hace referencia a otras alteraciones como neoplasias de los pulmones, el estómago y el colon (42).

Con respecto a las partículas de carbón, su dimensión es un referente de riesgo, no solo para explosividad, sino también para la salud de los trabajadores, El material particulado **(MP)** con polvo de carbón de acuerdo con la guía de seguridad para ventilación en minas subterráneas elaborada por Positiva (43) indican que una concentración de 20 a 50 g/m³ puede propagar explosión. Pescador y Roa (44), señalan que partículas menores de cinco micras son capaces de alojarse en el saco alveolar y que una parte de las inhaladas son depuradas por mecanismo biológico, de manera que, aquellas que no logran ser expulsadas con el tiempo terminan depositándose en el pulmón provocando patologías, tales como la neumoconiosis, enfermedad en los trabajadores de minas de carbón que han estado expuestos con el polvo de carbón durante varios años de labor, las manifestaciones se presentan aproximadamente a los diez años de permanente trabajo minero (45). De acuerdo con el estudio realizado por Manrique, Manrique y Manrique (46) en una mina de Boyacá, Colombia, indican que generalmente las actividades del trabajo minero se hacen con pica y pala, encontraron en los resultados que los cargos mineros que más riesgo tiene al polvo de carbón son el que pica y descarga el carbón.

En otro estudio realizado por Arcos y Carrillo (47) identificaron que además del polvo de carbón, existen otros riesgos relacionados con la labor minera en socavón, específicamente para el arranque y mantenimiento de las bocaminas por parte de los mineros, donde su labor implica un tiempo de siete horas, estos autores mencionan riesgos por caídas de rocas, respiración de material particulado y gases, posiciones forzadas y mantenidas, movimientos repetitivos, levantamiento de cargas y caída de muros o puertas de sostenimiento; las

consecuencias referidas en estos riesgos señalan enfermedades respiratorias como la neumoconiosis que se ha venido mencionando; adicionalmente, se presentan lesiones osteomusculares, fracturas, golpes e incluso la muerte.

Con respecto al control que se debe tener frente a la propagación del polvo de carbón en minas de socavón, el MinMinas en el decreto 1335 de julio de 1987, mediante el cual se expide el reglamento de seguridad en las labores subterráneas; en el título III (48), refiere que, en labores subterráneas es indispensable; eliminar los depósitos de polvo, esta acción se puede realizar barriendo y limpiando los frentes de trabajo, humedecer los frentes de arranque y puntos de cargue, se deben neutralizar los depósitos de polvo de carbón que se formen en paredes, pisos y techos, formando barreras de polvo inerte de caliza o neutralizando con recipientes con agua.

De acuerdo con Gastañaga y Yataco (49) la experiencia en los trabajos mineros, ha demostrado que combinar; la humectación del mineral o roca derribada y una adecuada ventilación natural o mecánica provee resultados satisfactorios en el control del polvo de carbón.

En el mismo decreto 1335 (48), se indica la obligación de conformar un comité de higiene y seguridad industrial para las labores mineras, tal como lo estipula el artículo 25 del Decreto 614 de marzo 14 de 1984 (50), por el cual se determinan las bases para la organización y administración de la salud en Colombia, lo cual es un control adicional favorable, debido a que se establecen y vigilan las normas y regulaciones para las operaciones mineras siendo un protector contra las enfermedades ocasionadas por la minería.

La situación de la labor minera nos indica a través de cifras de extracción y de condiciones físicas del lugar de trabajo, más razones para priorizar la higiene industrial en este contexto tan importante, no solo para las regalías que deja al país; sino también, para la seguridad y salud de sus trabajadores.

6. METODOLOGÍA

6.1. Tipo y método de Estudio

Este trabajo pretende revelar los principales hallazgos con respecto a los controles al polvo de carbón en mineros de socavón a partir del tipo de estudio investigación documental y método de estudio de carácter cualitativo, para lo cual se va a realizar una revisión sistemática rigurosa del conocimiento actualizado que se ha venido acumulando a partir del año 2010 en diferentes fuentes bibliográficas desde la perspectiva de la higiene industrial, exceptuando documentos gubernamentales referidos a normatividad o informes científicos de organismos o entidades internacionales de higiene industrial, los cuales pueden abarcar años diferentes al rango de selectividad elegido.

En este sentido, se pretende una interpretación y comprensión crítica de los contenidos de diferentes fuentes científicas recientes para entender y darle un sentido a los que diversos

investigadores plantean respecto al tema de los controles al polvo de carbón en minas de socavón y poder construir nuevos conocimientos.

El desarrollo de la investigación comprende un método de estudio con una fase heurística que lleva a la búsqueda y recopilación de fuentes de información contenidas en diversos documentos, dicha búsqueda se realizó utilizando filtros avanzados, con palabras clave referentes a la temática de investigación, como son: polvo de carbón, jerarquía de controles, minería subterránea e higiene industrial.

De otro lado, una fase hermenéutica que está dirigida a la lectura, análisis, interpretación y clasificación de material científico que refiera relevancia en la investigación.

6.2. Universo de estudio

Se realizó una revisión sistemática de documentos alusivos a contextos mineros donde se describía actividades o referentes operacionales del sector; de tal manera que, se exploraron bases de datos académicas electrónicas de carácter científico con acceso libre, la búsqueda sistemática se hizo en los siguientes tipos de documentos; tesis, artículos científicos, guías, manuales, normas o leyes referentes a la minería contenidos en repositorios institucionales, bases de datos, revistas científicas, portales de Administradores de Riesgos Laborales Colombianos, páginas oficiales nacionales e internacionales y motores de búsqueda electrónica como: **SciELO**, **Redalyc**, Google Académico, portales web institucionales especializados en el trabajo minero como: **OIT** (Organización Internacional del Trabajo), **ICOH**. International Commission on Occupational Health, **ACGIH** (American Conference of Governmental Industrial) **AIHA** (American Industrial Hygiene Association), **NIOSH – CDC** (Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional – Centro para el control y

prevención de enfermedades), **OHSAS** (Occupational Health and Safety Assessment Series), **UPME** (Unidad de Planeación Minero Energética), **ANM** (Agencia Nacional de Minería), **MinMinas** (Ministerio de Minas y Energía), **Mintrabajo** (Ministerio del trabajo), **MinSalud** (Ministerio de Salud y Protección Social), **MinAmbiente** (Ministerio de medio ambiente).

6.3. Población de estudio

Al referirse esta investigación a un estado del arte, no es requerido tener una muestra humana en su estudio; de manera que, se enfocó a la totalidad de documentos tanto temáticos como legales que cumplen con los criterios de elegibilidad y definen controles al polvo de carbón en minas de socavón desde una perspectiva de la higiene industrial existentes para los trabajadores mineros.

6.4. Criterios de inclusión y exclusión

En la búsqueda se tuvo en cuenta las palabras clave en español: polvo de carbón, jerarquía de controles, minería subterránea e higiene industrial; en inglés: coal dust, hierarchy of controls, underground mining and industrial hygiene.

Así mismo se tuvo en cuenta algunos términos que podrían acercarse al tema y son nombrados de una manera diferente a los términos clave; tal como, seguridad y salud en minería, minería y seguridad minera; en inglés: safety and health in mining, mining and mining safety.

Se tuvo en cuenta documentos en español e inglés.

Los documentos seleccionados y relevantes que fueron publicados a partir de 2010, a excepción de documentos gubernamentales de normatividad o informes científicos de organizaciones internacionales que aportan a la higiene industrial que manifiestan información relevante y que fue publicada en años anteriores.

Se tuvo en cuenta información con acceso libre en internet.

Se excluyó información contenida en Wikipedia y blogs personalizados que provienen de fuentes no oficiales o especializados en la minería.

6.5. Manejo y plan de análisis de la información

El procedimiento metodológico del estado del arte de esta investigación documental implicó una revisión sistemática que incluyó una fase heurística en la cual se indago, busco y descubrió información sobre los controles a la exposición al polvo de carbón en trabajadores en la minería de socavón de las fuentes de información ya mencionadas y bajo búsqueda avanzada de las palabras clave, teniendo en cuenta las temáticas aplicables a la investigación y los criterios de inclusión y exclusión (guion 6.4) para recopilar y conocer la producción de conocimiento y antecedentes.

Además de los criterios de selectividad ya mencionados, se realizó una exclusión preliminar basada en el título y lectura del resumen, descartando aquellos documentos que no tenían ninguna relación con la minería o aporte a los objetivos planteados en la investigación; de otro lado, involucró una fase hermenéutica en la cual se hizo un lectura

detallada para analizar, comprender e interpretar la información encontrada y luego clasificarla con respecto a la relevancia para el estudio, dicha clasificación se sistematizó en una matriz de contenido en Excel (anexo1); para luego categorizar dicha lista; de tal manera que, la presente investigación comprendió los siguientes pasos:

- Recopilación de la información a través de la búsqueda sistemática

Se realizó la búsqueda sistemática de documentos a partir de conceptos claves de minería en las fuentes electrónicas de acceso libre y se contextualizaron por autor(es), título, descripción o resumen, palabras clave, año, tipo de documento, procedencia y ubicación electrónica, esto con el fin de poder identificar de manera práctica la ubicación de las fuentes. La documentación preseleccionada se registró en una matriz de contenido en Excel (anexo1), donde se registró fuentes de artículos, libros electrónicos, portales web especializados y de noticias de portales especializados.

- Clasificación de la documentación:

Una vez se obtuvo la documentación robusta que involucraba las temáticas referidas a los conceptos claves de minería en la matriz de contenido (anexo 1), se estableció parámetros de clasificación con respecto al tipo de documento. Por lo tanto, se procedió a determinar si la información contenida correspondía a un libro electrónico, noticia especializada, informe científico de portales web especializados, artículo de revista científica, tesis o normativa.

- Categorización de la información:

El análisis de la documentación a través de la lectura objetiva y crítica de cada fuente de información llevo a realizar la selectividad bibliometría a partir de cinco categorías: proceso del carbón, perfil sociodemográfico del minero, normativa minera, factores de riesgo asociados al polvo de carbón en la minería y controles al polvo de carbón. Dichas

categorías sirvieron de filtro para determinar los documentos que brindaban un aporte significativo para dar respuesta a los objetivos de la investigación.

La cantidad y calidad de la documentos disponibles relevantes para la investigación se sistematizaron en la matriz de contenido (anexo 1) seleccionando aquellos documentos que cumplieran por lo menos con una de las cinco categorías establecidas para ser incluido en la investigación; de lo contrario, se descartó dicho documento indicando la razón como baja relevancia para responder a los objetivos planteados en el estudio, no refiere información aplicable para responder a los objetivos de estudio y refiere aspectos de la minería pero no es exclusivo al carbón.

Una vez la información es categorizada, se analizó la documentación para la elaboración de los resultados que implicaron el esquema conceptual, teniendo en cuenta la información relevante para dar respuesta a la pregunta de investigación y los objetivos propuestos en este trabajo.

A continuación, se detalla por objetivo específico, las actividades y los entregables:

Tabla 1. Matriz de entregables por objetivos planteados

Objetivo	Actividad	Entregable
Contextualizar el proceso de trabajo minero y el perfil de los trabajadores en minas de carbón de socavón.	Realizar análisis de la documentación y lectura objetiva y crítica para recopilar información relevante. Identificar y definir cada etapa del proceso de minería de socavón. Especificar los procesos en donde se presenta mayor exposición del trabajador al polvo de carbón. Describir el perfil de los trabajadores de minas de socavón.	Consolidado de métricas para las revisiones efectuadas. Esquema conceptual.
Determinar los factores de riesgo asociados a la exposición al polvo de carbón en minas de socavón.	Revisión de documentos que refieren aspectos de la higiene industrial en minería de carbón Definir los factores de riesgo asociados al polvo de carbón en mineros de socavón.	Consolidado de resultados de la revisión efectuada. Esquema

Especificar la normatividad vigente en materia de seguridad y salud e higiene industrial en la minera subterránea.	<p>Establecer una relación entre los factores de riesgo asociados al polvo de carbón y las potenciales enfermedades laborales a las que está expuesto el minero.</p> <p>Revisión de normatividad vigente relacionada con minería de socavón.</p> <p>Revisión de normatividad técnica aplicable al tema de higiene industrial.</p>	<p>conceptual.</p> <p>Matriz de requisitos legales.</p>
Identificar los controles a la exposición al polvo de carbón en trabajadores en minas de socavón desde una perspectiva de la higiene industrial en el análisis de documentos publicados a partir de 2010.	<p>Revisión de documentos donde se hayan definido controles a la exposición al polvo de carbón en minería de socavón.</p> <p>Listar y definir los controles identificados.</p> <p>Establecer la relación entre los controles identificados y la higiene industrial.</p>	<p>Síntesis del análisis realizado en el esquema conceptual.</p>

Fuente: el autor

6.6. Herramientas o instrumentos de investigación

Los documentos se sistematizaron en una hoja de cálculo de Excel, que se convirtió en la matriz de contenido (anexo 1) donde se registró, contextualizó, clasificó, analizó, categorizó y sintetizó la información. De manera que, el principal instrumento de investigación a utilizar fue la matriz de contenido de Excel para el análisis bibliográfico y de categorías, mediante la utilización de tablas dinámicas que permitieron explorar y analizar la información para establecer las gráficas de resultados.

La estructura de la matriz de contenido (anexo1) refiere información de las fuentes de documentación preseleccionada, la cual se organizó en cada columna por: autor(es), título, descripción o resumen del estudio, palabras clave, año, tipo de documento (libro electrónico, noticia especializada, informe científico, artículo de revista científica, tesis o normativa), procedencia, herramienta de búsqueda, ubicación electrónica, categorías de selección (proceso del carbón, perfil sociodemográfico del minero, normativa minera,

factores de riesgo asociados al polvo de carbón en la minería y controles al polvo de carbón), pertinencia investigativa, razones de exclusión /inclusión (baja relevancia para responder a los objetivos planteados en el estudio, no refiere información aplicable para responder a los objetivos de estudio y refiere aspectos de la minería pero no es exclusivo al carbón).

La anterior organización se realizó con el fin de poder realizar un análisis de la información de los hallazgos documentales a través de tablas dinámicas y establecer resultados referentes a aquellos documentos donde se encuentra mayor información respecto a las categorías establecidas para dar respuesta a los objetivos planteados.

Los títulos, palabras clave y el resumen o descripción del estudio fueron un factor determinante para realizar un filtro de los documentos con relevancia para la minería de carbón y aspectos referidos a la higiene industrial, seguridad y salud en el trabajo y/o salud ocupacional.

El filtro de la matriz de contenido referida al año, tuvo como finalidad determinar cuándo se produjo mayor o menor conocimiento respecto al polvo de carbón en minas de socavón y reconocer los vacíos de información existentes.

Con respecto al tipo de documento clasificado, procedencia, las herramientas de búsqueda y ubicación electrónica fueron un filtro valioso para identificar dónde y en qué tipo de recurso encontrar información con mayor predominancia referida al estudio de investigación.

Las categorías mencionadas (proceso del carbón, perfil sociodemográfico del minero, normativa minera, factores de riesgo asociados al polvo de carbón en la minería y controles al polvo de carbón) se establecieron con la finalidad de seleccionar y obtener documentos

que cumplieran con al menos una categoría, siendo un recurso que aportaba para dar respuesta a los objetivos señalados en el estudio de investigación.

En las dos últimas columnas de la matriz de contenido (anexo 1), se ubicó la pertinencia investigativa y las razones de inclusión/exclusión referente al contenido, de manera que, una vez estudiados crítica y objetivamente cada documento preseleccionado, se identificó y seleccionó aquellos que eran de aporte o no para la investigación respecto al desarrollo de cada objetivo propuesto.

6.7. Consideraciones éticas

Teniendo en cuenta la tipología de esta investigación, se considera los aspectos éticos contemplados en el Código Internacional de ética para los profesionales de la salud ocupacional que refiere el International Commission on Occupational Health, **(ICOH)** (56) toda vez que el concepto de higiene industrial está incorporado dentro del campo de acción de los profesionales de la salud ocupacional, siendo uno de los principios básicos de un profesional de esta área, el servir a la salud y el bienestar social de los trabajadores en forma individual y colectiva, para lo cual, un trabajo de este tipo propende por el desarrollo de un análisis de las condiciones actuales de trabajo de los trabajadores en minas de socavón expuestos a polvo de carbón, y qué aporte tendrá la revisión de los controles existentes a dichas condiciones de trabajo.

Así mismo, el trabajo es un aporte articulado a las directrices técnicas y éticas para la vigilancia de salud de los trabajadores, publicadas por la **OIT** (57), pues contempla todo lo relacionado con el monitoreo y vigilancia sanitaria de los trabajadores, desde la situación

actual de los controles definidos para la exposición al polvo de los trabajadores que laboran en minas de socavón, para lo cual se revisaron los diferentes casos en donde se han implementado controles y que tan alineados se encuentran los mismos, con respecto a las directrices de la OIT (3)

Por otra parte, el trabajo propenderá en su análisis por verificar como se superan los diferentes obstáculos para la práctica de la higiene y salud ocupacional en las empresas mineras subterráneas objeto de estudio desde los controles que ejercen sobre sus trabajadores expuestos a polvo de carbón y cómo han enfrentado los desafíos éticos que exige la práctica de la implementación de la salud e higiene ocupacional. De acuerdo con los lineamientos de la resolución 8430 de 1993 (58), en la cual se requieren consideraciones éticas para llevar a cabo investigaciones en salud por contemplar personas, en el caso de la presente investigación, está exenta de un concepto ético para llevarse a cabo, puesto que, la investigación se fundamenta en la revisión de literatura para encontrar casos donde se hayan implementado controles a la exposición al polvo de carbón en trabajadores de minas de socavón tomando como perspectiva la higiene industrial.

7. RESULTADOS

7.1. Resultados de la revisión bibliográfica

Con el fin de dar respuesta a cada objetivo planteado en este estudio de investigación, se da respuesta en este numeral a las estadísticas referentes a la documentación encontrada con respecto a la minería de socavón y los controles a la exposición al polvo de carbón desde una perspectiva de la higiene industrial, lo cual se convirtió en el insumo principal para el desarrollo del estado del arte.

Con los criterios de búsqueda y requisitos de exclusión e inclusión establecidos en la parte metodológica de esta investigación (ver guion 6.2 y 6.4), se consolidó un número importante de referencias; adicionalmente a la preselección establecida, se realizó un filtro con la lectura detallada del título y resumen de cada documento, se listo aquellos que en un principio mostraban relevancia para el estudio proporcionando información que permitiera dar respuesta a los objetivos planteados; de esa manera, se seleccionó un listado preliminar

de 133 documentos en total, una vez se realiza la categorización conforme se estableció (ver guion 6.5 de este documento), sobre el manejo y plan de análisis de la información, se procede a determinar un listado con mayor detalle a partir de la lectura objetiva y crítica de cada documento con la finalidad de seleccionar aquellos que cumplieran con al menos una categoría, de esa manera, se descarta un total de 25 documentos.

En la figura 6 se observa la distribución según el tipo de documentos a partir de la clasificación del material; Con respecto a los portales web especializados en higiene industrial y minería de carbón se encontró un 79% de efectividad en la búsqueda de documentos, siendo seleccionados 34 de 43 preseleccionados.

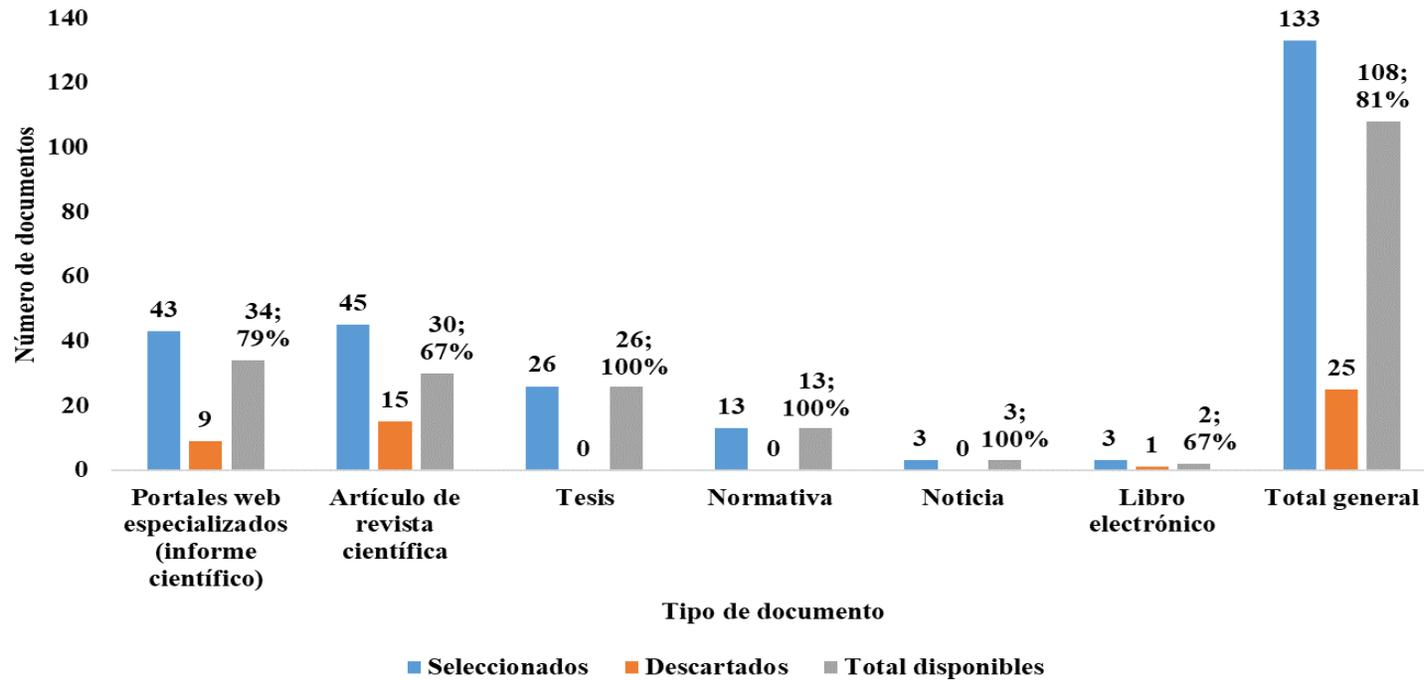
En cuanto a los artículos científicos, estos refieren información relevante para el estudio, determinando un 67% de efectividad con respecto al número inicial de preseleccionados, encontrándose 45 artículos científicos de los cuales 30 aportaron información al estudio. Otro documento con alto porcentaje de efectividad son las tesis de repositorios universitarios, donde se obtuvo un 100% de efectividad en la búsqueda, las 26 tesis que fueron escogidas inicialmente mostraron alta relevancia con respecto a la minería de carbón, la higiene industrial y los controles a la exposición al polvo de carbón. Se encontró que muchos estudios de tesis referidos a la minería y la salud ocupacional se encuentran relacionados con universidades de la región boyacense, cabe destacar que esta región contiene gran parte de la minería de carbón de socavón y que dichas universidades ofrecen educación continua en salud ocupacional, seguridad y salud en el trabajo, entre otras relacionadas a la salud de los trabajadores.

La búsqueda de información concerniente a la normatividad minera responde efectivamente a la especificidad técnica que aporta de manera positiva al estudio en cuanto

a los lineamientos actualizados que se deben seguir para la constitución de la minería en Colombia, teniendo en cuenta los requisitos legales que favorecen la salud y el trabajo de los mineros, se consultaron 13 documentos normativos específicos de la minería.

En referencia a noticias de portales especializados se hizo uso de tres, los cuales mostraron información precisa y limitada pero útil para contribuir a los contenidos de este documento; en el caso de los libros electrónicos se utilizaron dos de tres preseleccionados, allí, existe diversa información que permitió la definición de conceptos referidos a la minería de carbón.

Figura 6. Distribución de documentos seleccionados y descartados según tipo de documento.



Fuente: el autor

De otro lado, en la tabla 2, se refiere el número de documentos seleccionados y su distribución conforme al tipo de documento clasificado como se indicó en la metodología (guion 6.5), estos valores se muestran respecto al total de documentos seleccionados para este estudio, que fueron 108 en total. Los resultados muestran que para los informes científicos de portales web especializados un porcentaje de 31,48% implicaron información relevante para aportar a la investigación, en artículo de revista científica un 27,77%, tesis 24,07%, normativa 12,03%, noticia 2,77% y libro electrónico 1,85%.

los documentos anteriores fueron referentes importantes para aportar en el esquema conceptual y entregables que dan respuesta a los objetivos planteados en el estudio, se obtuvo en total un número de 108 documentos que corresponden al 81,2% de los preseleccionados en una etapa inicial.

Tabla 2. Distribución de documentos seleccionados que aportaron a los resultados del estudio según tipo de documento.

Tipo de documento	Número de documentos seleccionados	Distribución según total de documentos seleccionados (N=108)
Informe científico (portal web especializado)	34	31,48%
Artículo de revista científica	30	27,77%
Tesis	26	24,07%
Normativa	13	12,03%
Noticia	3	2,77%
Libro electrónico	2	1,85%
Total general	108	100%

Fuente: el autor

La tabla 3, indica el número de documentos que fueron descartados de acuerdo con la categorización y por la pertinencia para el estudio de investigación relacionado con el tipo de documento (guion 6.5 de la metodología), los documentos fueron descartados por no cumplir con ninguna de las categorías determinadas para el estudio; es decir, aquellos documentos que aportaban información del proceso del carbón, perfil sociodemográfico del minero, normativa minera, factores de riesgo asociados al polvo de carbón en la minería y controles al polvo de carbón; así mismo, se descartó aquellos documentos que una vez seleccionados, leídos de manera objetiva y crítica y analizados mostraron baja relevancia o información no aplicable para responder a los objetivos planteados en el estudio y aquellos que no contenían información de la minería del carbón. Con lo anterior, se descartaron un total de 25 documentos, correspondiendo a un 19% del total de documentos seleccionados (N=133).

Tabla 3. Número de documentos y distribución de descartados según tipo de documento

Tipo de documento	Numero de seleccionados por tipo de documento	Número de documentos Descartados	Distribución por cada tipo de documento
Artículo de revista científica	45	15	33,33%
Informe científico (portal web especializado)	43	9	20,93%
Libro electrónico	3	1	33,33%
Total general	91	25	27,47%

Fuente: Autor

La tabla 4 permite visualizar aquellas herramientas de búsqueda que llevaron a obtener documentos relacionados a la minería, salud ocupacional, higiene industrial, controles a la exposición al polvo de carbón y normatividad minera. Se encontró que Google Académico es una de las herramientas con mayor acceso a información con respecto a lo que concierne a este estudio, 47 documentos fueron referidos inicialmente, teniendo en cuenta que se realizó una exploración detallada de las palabras clave de búsqueda, lectura de títulos y resumen para minimizar el número de resultados; sin embargo, esta herramienta presenta un alto número de documentos descartados, seleccionándose solo 36 documentos relevantes. Los repositorios universitarios son una fuente de búsqueda que permite explorar información útil; para el caso de este estudio se encontraron 23 documentos, de los cuales tan solo se descartó un documento, la exploración en organismos internacionales especializados en salud ocupacional, seguridad y salud en el trabajo e higiene industrial poseen valiosa información, sin embargo, la exploración debe ser minuciosa para encontrar especificidad en materia de minería de carbón y controles al polvo de carbón, para este caso, se encontraron 10 documentos relevantes para responder a los objetivos planteados en este estudio, en cuanto a bases de datos exploradas, SciELO reveló 11 documentos relacionados y Redalyc nueve.

Las entidades oficiales del estado colombiano especializados en minería, contienen información referida a normatividad y estadísticas que indican un panorama económico y de accidentalidad el sector. Otros recursos de búsqueda proveen información parcial que aportaron a los resultados de este estudio y se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Número de documentos seleccionados según Herramienta de búsqueda

Herramientas de búsqueda	Número preliminar seleccionado	Número de documentos Descartados	Número de documentos seleccionados
Google Académico (Buscador revistas, tesis y noticias científicas)	47	11	36
Repositorio (universitarios)	23	1	22
OIT (Dominio de organismos no gubernamentales)	10	0	10
Scielo (base de datos)	11	3	8
Redalyc (base de datos)	9	3	6
ANM (Agencia Nacional de Minería)	5	0	5
Minsalud (Dominio gubernamental)	6	2	4
CDC-NIOSH (Centro para el Control y Prevención de Enfermedades)	5	1	4
MinTrabajo (Dominio gubernamental)	5	2	3
UPME (Unidad de Planeación Minero Energética)	3	1	2
OSHA(Dominio de organismos no gubernamentales)	2	0	2
MinEnergía (Dominio gubernamental)	2	0	2
MinEducación (Dominio gubernamental)	1	0	1
MinAmbiente (Dominio gubernamental)	1	0	1
Dialnet (base de datos)	2	1	1
ARL (Positiva)	1	0	1
Total general	133	25	108

Fuente: el autor

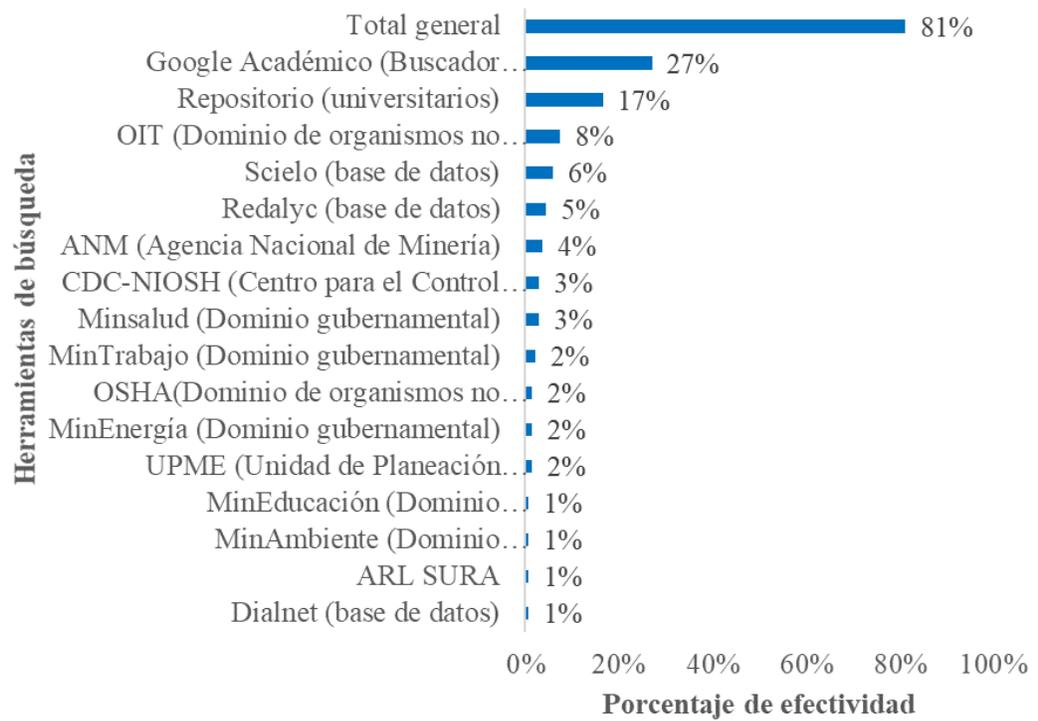
Con el fin de contextualizar y clasificar la información relevante para el estudio de investigación se organizaron los documentos según la herramienta de búsqueda, en la figura 7, se visualiza la distribución de efectividad según tipo de herramienta de búsqueda; encontrándose que Google Académico es un buscador que permite rastrear información que contiene revistas, tesis y web especializados en temas de minería con un registro geográfico amplio; sin embargo, requiere de un exhaustivo análisis para determinar si la información

es válida con respecto a otra encontrada en bases de datos, de manera que en el análisis se encontró que esta herramienta de búsqueda arroja un número alto de documentos pero también muchos de ellos son descartables por falta de solidez científica o en otros casos se descartó por no tener relevancia para el estudio, siendo así se seleccionaron 36 de 47 documentos, con un porcentaje de efectividad del 27%, respecto al número total de documentos preseleccionados (N=133)

De otro lado, los repositorios que brindan información a través de tesis y trabajos académicos resultó brindar un contenido apropiado a lo que se pretendía en este trabajo de investigación, siendo seleccionados 22 de 23 documentos, con un porcentaje de efectividad del 17%. Con respecto a las bases de datos (SciELO, Redalyc y Dialnet), se seleccionaron 15 de 22 documentos, mostrando un 11,27% de efectividad.

La búsqueda en portales web especializados en temas de higiene industrial, revelan información valiosa referente a la minería de socavón y las acciones necesarias para la prevención y seguridad y salud en el trabajo, de los sitios con mayor información se encuentran la **OIT**, **CDC- NIOSH** y **ANM**. Las tesis fueron un medio de consulta con alta efectividad, su contenido presentaba adecuada información y referencias que aportaron de manera positiva al estudio; de igual manera, son un recurso valioso de apoyo a las mineras desde el punto de vista de intervenciones sobre la implementación de Sistemas de Seguridad y Salud en el trabajo para pequeñas y medianas empresas que no cuentan con la legalidad y conocimiento para encaminar sus acciones a ejercicios laborales seguros, siendo de gran valor investigativo y de aplicabilidad para mejorar las condiciones de los trabajadores y la salud pública.

Figura 7. Distribución de Efectividad de las herramientas de búsqueda respecto al número total de documentos preseleccionados



Fuente: el autor

Con la sistematización de la información, se procedió a establecer cinco categorías de análisis de los documentos para determinar aplicabilidad al estudio; así, se hizo una lectura comprensiva de los documentos, seleccionando aquellos que aportarán información por lo menos a una de las cinco categorías: descripción del proceso minero, perfil ocupacional y sociodemográfico del minero, normatividad minera, riesgos asociados al polvo de carbón y controles al polvo de carbón en minas de socavón.

Con la selectividad de documentos sistematizados, se determinó aquellos documentos que aportaban categóricamente al estudio, la tabla 5, señala el número de documentos según el número de categorías que cumplía para dar respuesta a los objetivos propuestos en el estudio.

Tabla 5. Número de documentos seleccionados según número de categorías aplicables

Razón de inclusión según categorización	Número de documentos seleccionados
Cumple con tres categorías	33
Cumple con dos categorías	31
Cumple con una categoría	20
Cumple con Cuatro categorías	13
Cumple con cinco categorías	11
Total general	108

Fuente: el autor

De otro lado, se descartaron algunos documentos que presentaban baja aplicabilidad, aquellos que no respondían a los objetivos y documentos que mencionaban actividades referentes a la minería, pero no de carbón. La tabla 6 relaciona el número de documentos que fueron descartados conforme cada una de las razones señaladas una vez se analizó cada documento a través de la lectura detallada y objetiva.

Tabla 6. Número de documentos excluidos según razón de exclusión

Razón de exclusión según categorización	Número de documentos no seleccionados
Baja relevancia para responder a los objetivos planteados en el estudio.	18
No refiere información aplicable para responder a los objetivos de estudio	6
Refiere aspectos de la minería, pero no es exclusivo al carbón.	1
Total, general	25

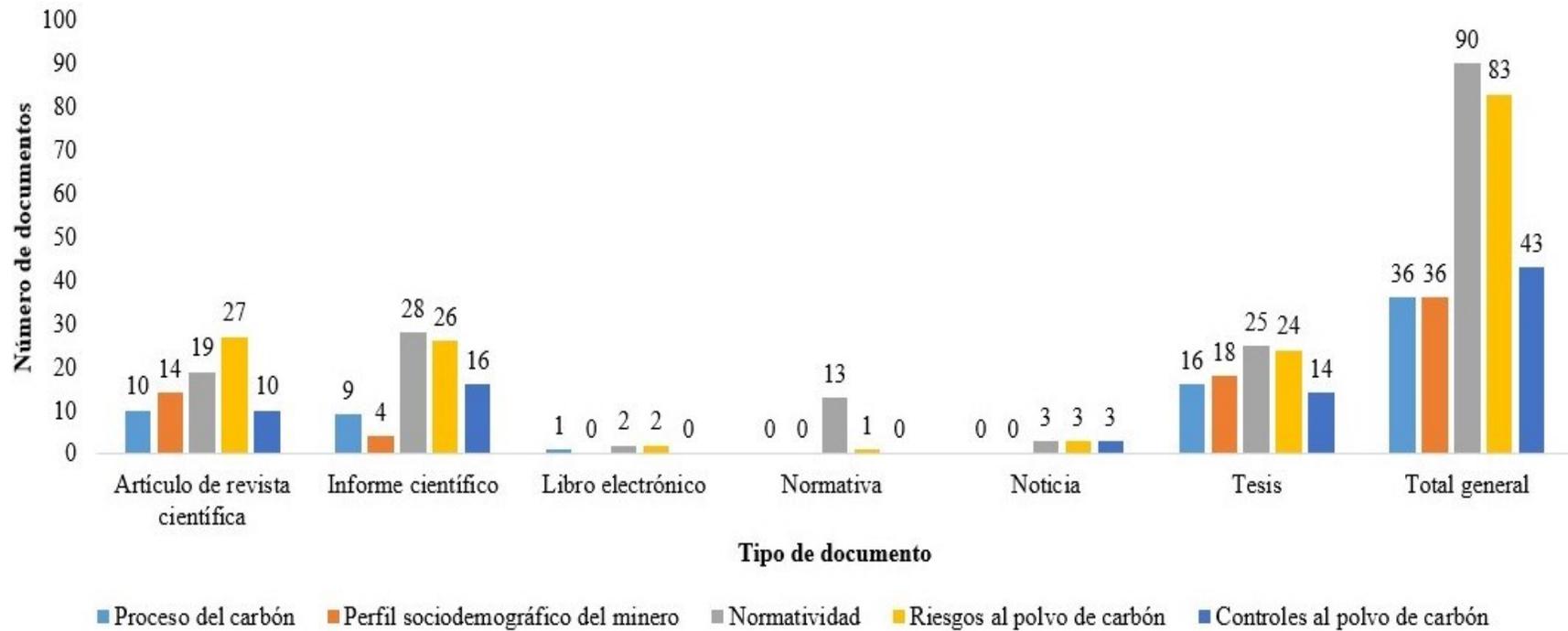
Fuente: el autor

La figura 8 indica el número de documentos que se seleccionaron para esta investigación a partir de la categorización señalada según el tipo de documento.

El número de documentos que indican información sobre el proceso de carbón es de 36, en referencia al perfil sociodemográfico de los mineros se contó con 36 tipos de documentos, en lo que respecta a normatividad, ésta se toma como referente en la mayoría de los documentos seleccionados con un número de 90 aprobados.

La categoría de selección concerniente a los riesgos al polvo de carbón indica un número de 83 documentos elegidos. A la categoría de controles al polvo de carbón fueron seleccionados 43 documentos que mostraron recomendaciones, regulaciones y acciones que se deben tomar para las labores mineras.

Figura 8. Número de documentos seleccionados que aportaban al estudio según categorización y tipo de documento.



Fuente: el autor

En la tabla 7 se presenta el número de documentos por categorías que fueron seleccionados para el estudio.

Tabla 7. Número de documentos seleccionados de acuerdo con las categorías de estudio, según tipo de documento.

Tipo de documento	Documentos seleccionados por categorías				
	Proceso del carbón	Perfil sociodemográfico del minero	Normatividad	Riesgos al polvo de carbón	Controles al polvo de carbón
Artículo de revista científica	10	14	19	27	10
Informe científico	9	4	28	26	16
Libro electrónico	1	0	2	2	0
Normativa	0	0	13	1	0
Noticia	0	0	3	3	3
Tesis	16	18	25	24	14
Total, general	36	36	90	83	43

Fuente: el autor

Los resultados indican documentos que fueron publicados a partir de 2010; sin embargo, se hizo una excepción a documentos que contenían normatividad referida a la minería de carbón y las disposiciones legales pertinentes de organismos o entidades gubernamentales que presentan informes científicos y tienen incidencia en la higiene industrial o salud ocupacional para los trabajadores mineros; en ese sentido, en la tabla 8 se relacionan los documentos seleccionados por año de publicación según el tipo de clasificación.

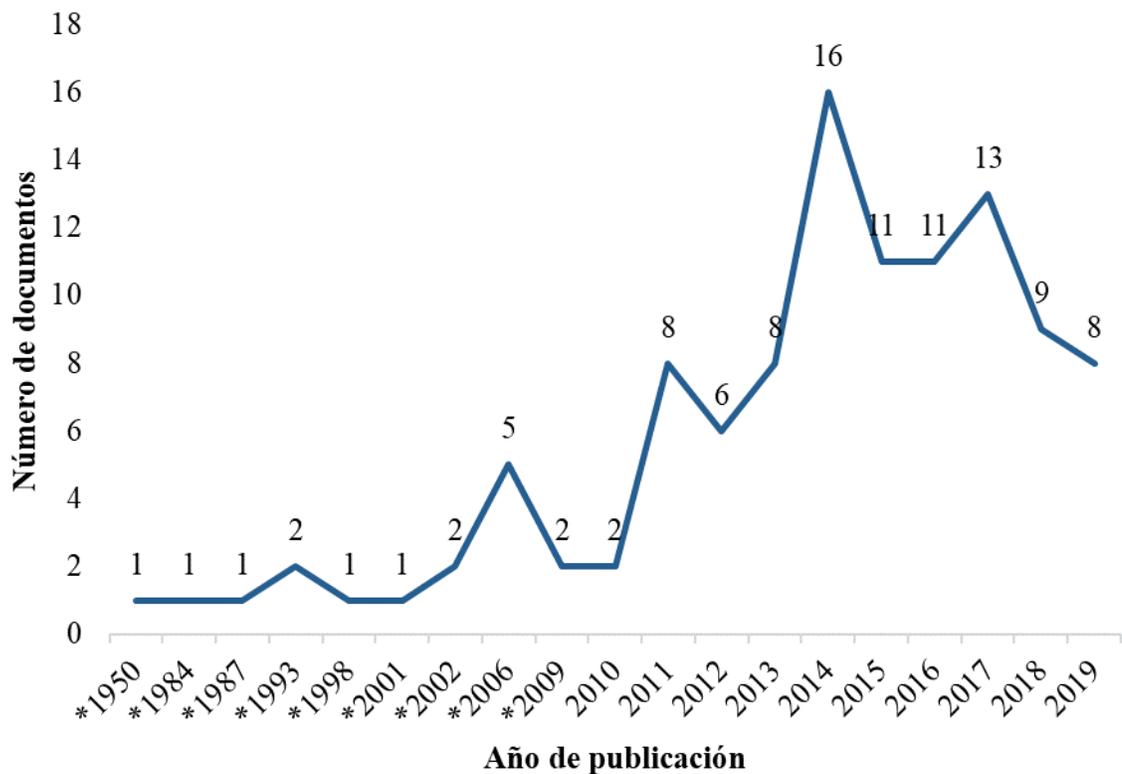
Tabla 8. Número de documentos seleccionados por año de publicación según tipo de documento

Año de publicación	Tipo de documento						Total general
	Artículo de revista científica	Informe científico	Libro electrónico	Normativa	Noticia	Tesis	
2019	2	3		1	1	1	8
2018	1	5				3	9
2017	5	4	1			3	13
2016	5	3				3	11
2015	2	3		1		5	11
2014	5	3		1		7	16
2013	4	2	1			1	8
2012	2	3				1	6
2011	2	2			2	2	8
2010	2						2
*2009		2					2
*2006		4		1			5
*2002				2			2
*2001				1			1
*1998				1			1
*1993				2			2
*1987				1			1
*1984				1			1
*1950				1			1
Total general	30	34	2	13	3	26	108

Fuente: el autor

La figura 9, indica que los años en los cuales se publicaron mayores recursos con respecto a la minería, sus riesgos y controles desde una perspectiva de la higiene industrial que fueron un recurso de gran valor para dar respuesta a lo planteado en este estudio, refieren entre el año 2014 y 2017, mostrando entre 11 a 16 documentos relevantes.

Figura 9. Número de documentos por año de publicación según tipo de documento



*Años de publicación diferentes al rango a partir del 2010, hacen referencia a documentos que refieren información de normatividad o legalidad de organismos e instituciones gubernamentales referentes a la minería.

Fuente. El autor

7.2. Esquema conceptual

7.2.1. Contextualización del sector minero de carbón en Colombia

Para el desarrollo del objetivo número uno, se presenta a continuación información referente al sector minero relacionado con el desarrollo de la actividad en cuanto a estadísticas económicas, reglamentaciones, posicionamiento en el mercado mundial, estructura organizacional y del trabajo, proceso productivo y condiciones ocupacionales de los trabajadores mineros.

7.2.1.1. Industria minera del Carbón en Colombia

Colombia ocupa el undécimo lugar en la producción mundial de carbón; en cuanto a exportación, por tener gran calidad, ocupa el quinto lugar después de Estados Unidos, China, Indonesia y Australia, esa calidad del carbón colombiano está representado en su valor calorífico y baja concentración de cenizas (59). La producción anual en 2017 disminuyó un ligero 1.2% respecto al año anterior, a 89.4 millones de toneladas, la producción del tercer trimestre en 2018 fue de 20.3 millones de toneladas, un 5.6% menos que en el mismo período del año previo (60).

El trabajo minero en Colombia se realiza de dos maneras: minería a cielo abierto, la cual es predominante en la región Costa Atlántica y subterránea o de socavón, que está distribuida en el interior del país, principalmente, la zona Andina (61). De acuerdo con el censo minero realizado en 2011 por el **MinMinas** (62), en Colombia existen 14.357 minas, 37% con título minero y 63% sin título minero, con respecto a cifras de explotación de carbón exclusivamente, 60% tiene título minero y un 40% no lo tiene. El tamaño presente de las minas está representado en 10.384 pequeñas, 3.749 medianas y 208 son grandes. Con

respecto a la implementación de acciones de seguridad, higiene y salud ocupacional, se encontró que un 28% implementa un **SG-SST** (Sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo), y un 72% no lo implementa, lo más impactante de las cifras, revela que solo un 15% de las minas que no tienen título minero, tiene acciones de seguridad, higiene y salud para los trabajadores mineros, lo preocupante es que no solo está en riesgo este porcentaje, un 84% se encuentra en un riesgo alarmante.

7.2.1.2. Clasificación de las labores mineras subterráneas de carbón

Existen tres categorías de acuerdo con el reglamento 1886 de 2015, en el artículo 58 (12) se indican disposiciones especiales para minas grisutuosas, el glosario minero (2) hace referencia a la presencia de una “mezcla de metano con aire en proporciones variables que puede contener otros gases; etano, anhídrido carbónico, entre otros, su mayor riesgo se debe a la capacidad de arder y explotar según los porcentajes de su mezcla con el aire, y se considera el mayor riesgo entre el 5% y 16%” (p78).

Las categorías que señalan el reglamento en el artículo 58 son:

Categoría I: Minas de carbón o frentes de trabajo no grisutuosos, que describe *labores o excavaciones subterráneas para las cuales la concentración de metano en cualquier sitio de la mina no alcanza el 0%*. (12, art. 58)

Categoría II: Minas o frentes débilmente grisutuosos; es decir, *labores o excavaciones subterráneas para las cuales la concentración de metano en cualquier sitio de la mina sea igual o inferior a 0,3%*. (12, art. 58)

Categoría III: Minas o frentes fuertemente grisutuosos, hace referencia a las *labores o excavaciones subterráneas para las cuales la concentración de metano en cualquier sitio de la mina sea superior a 0,3%*. (12, art. 58)

Ahora bien, de acuerdo con el decreto 1886 de 2015 (12) se indica en el artículo 60 que la concentración de metano en la atmósfera bajo tierra de las minas clasificadas en el artículo 58, se debe medir según los siguientes parámetros:

En la Categoría I, se debe controlar al iniciar cada turno y antes de iniciar cualquier voladura.

En la Categoría II, se debe controlar al iniciar cada turno, antes de efectuar cualquier voladura o por lo menos cada dos (2) horas durante la jornada de trabajo; y,

En la Categoría III, se debe controlar antes de iniciar cada turno y en forma permanente y continua en los sitios establecidos en el artículo 46 del Reglamento para minas subterráneas.

Con respecto a la ventilación en minas grisutuosas, el decreto 1886 de 2015 (12) en su artículo 61, menciona que para el caso de las minas clasificadas en la categoría III; es decir, aquellas que presentan concentraciones por encima de 0,3% de gas metano, deberán cumplir con los siguientes requisitos:

Se indica que la ventilación en una mina subterránea debe ser permanente, no se debe suspender; si por cualquier causa:

Se suspende la ventilación principal en este tipo de explotaciones, se debe evacuar inmediatamente todo el personal de la mina o labor minera subterránea, incluyendo al personal encargado de labores de mantenimiento y bombeo de las aguas subterráneas, y

comunicar la situación de manera inmediata a la autoridad de salvamento minero o quien haga sus veces.

Se hace necesario suspender la ventilación auxiliar, se debe evacuar inmediatamente el personal de los frentes de trabajo afectados, esta medida debe ir precedida de una orden escrita del responsable técnico de la labor minera subterránea.

Siempre se debe disponer de una planta auxiliar de energía en superficie, que asegure continuidad en la ventilación principal y auxiliar de la mina, cuya capacidad dependerá de los requerimientos de los sistemas de ventilación y bombeo (12).

Las corrientes de ventilación deben ser de forma horizontal o ascendente (12)

El suministro de aire respirable a frentes ciegos, horizontales o inclinados (tambores, bajadas, entre otros), debe hacerse con instalaciones de ventilación auxiliar, para avances de carbón cuya longitud sea superior a diez metros (10 m). (12).

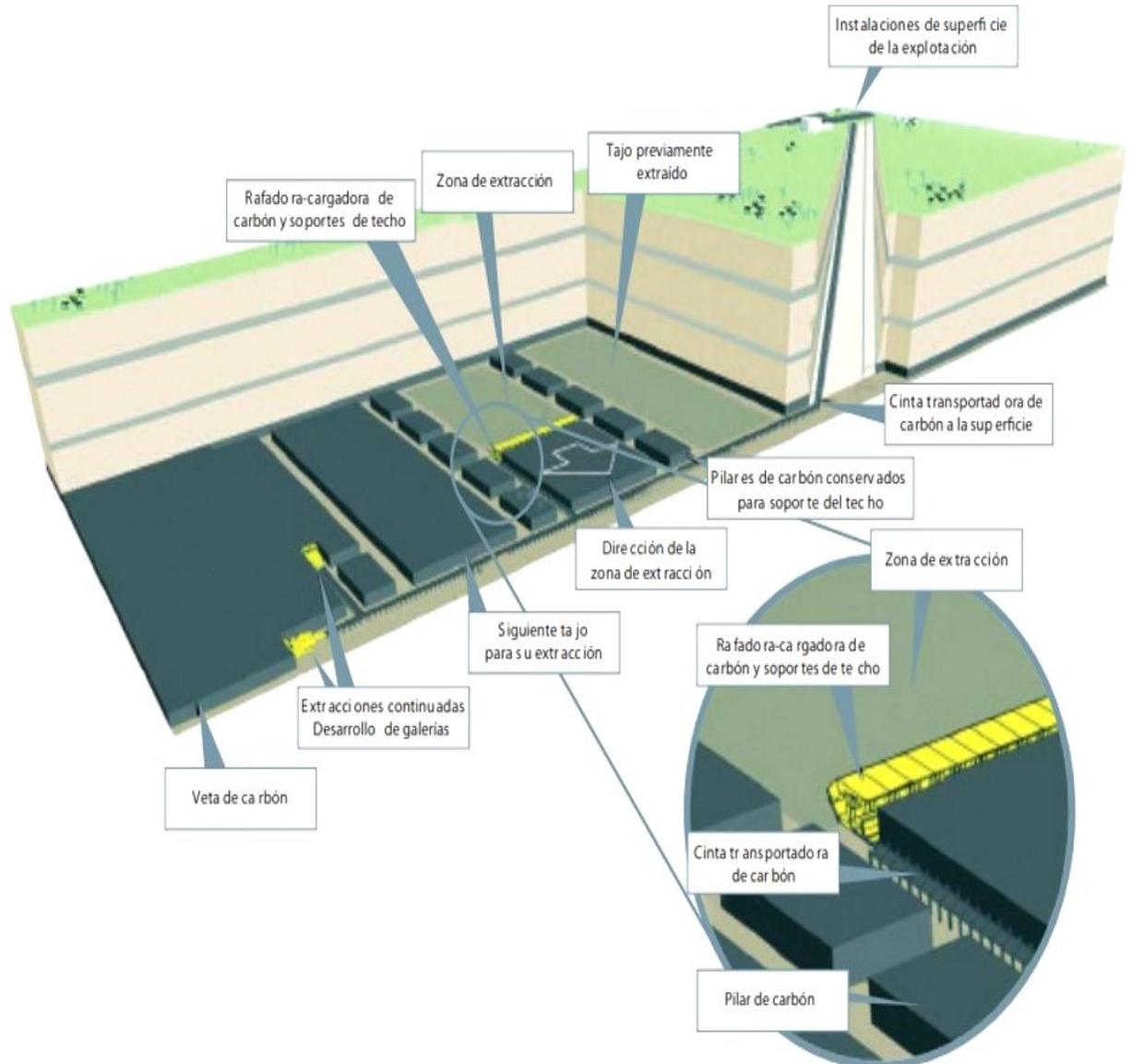
7.2.1.3. Proceso productivo para extracción de carbón de socavón o subterráneo

Una vez se ha realizado el análisis geológico y planificación del sitio de exploración; la minería inicia con el desmonte y la disposición de la cobertura vegetal, la cual se almacena y resguarda para que una vez termine un proyecto se proceda a instalar y dejar lo mejor posible el área utilizada (63), en la figura 10 (64), se puede observar una mina subterránea que ha sido construida y se ha hecho el respectivo montaje para la explotación de carbón, allí se esquematiza de manera general los caminos inclinados de entradas y salidas de la mina que sirven de alimentadores para prestar diferentes servicios a la actividad minera, se

puede percibir un contexto encerrado en un medio geológico, con alto grado de profundidad; por lo cual, los sistemas de ventilación en las labores juegan un papel predominante, los accesos a las vetas de carbón se hacen por medio de pasillos o galerías diseñados cuidadosamente, de manera que faciliten las actividades de circulación no solo de trabajadores; sino también, de vehículos que hacen parte del desarrollo minero.

En la preparación del yacimiento, se realizan los caminos de acceso conforme a los métodos establecidos de trabajo elegidos, los cuales serán descritos más adelante, de los cuales, las cámaras o pilares y el método de tajos largos, es el referente en la minería de carbón de socavón, la razón de estos métodos es para ordenar la extracción por bloques o sectores. Una vez listos los túneles de acceso, áreas de trabajo y circulación; se procede a la perforación y arranque, el cual se realiza por medio de explosivos para la extracción del carbón, el cual queda expuesto para su cargue y transporte.

Figura 10. Representación de mina subterránea de carbón

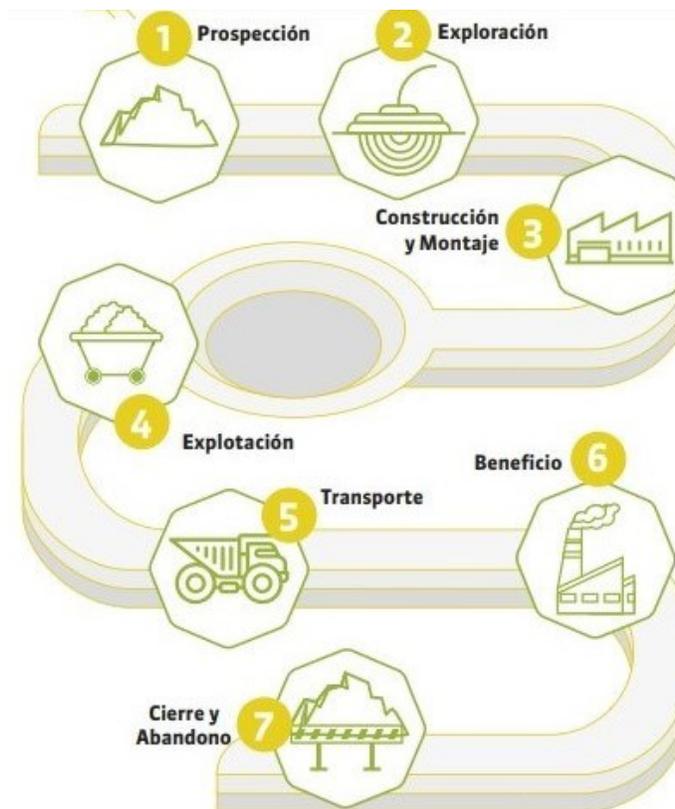


Fuente. ¿Cómo se extrae? BHP Billiton Illawara Coal, Carbounión. (64)

A continuación, se describe el ciclo básico de explotación de carbón en la minería subterránea. La figura 11 (65) representa los pasos a seguir en un proceso minero:

En la prospección, se evalúan y especifican las áreas que presuntamente indican mineralización, lo cual se realiza a través de diversos medios tecnológicos y teniendo en cuenta la reglamentación para iniciar una mina de manera legal.

Figura 11. Pasos del proceso minero



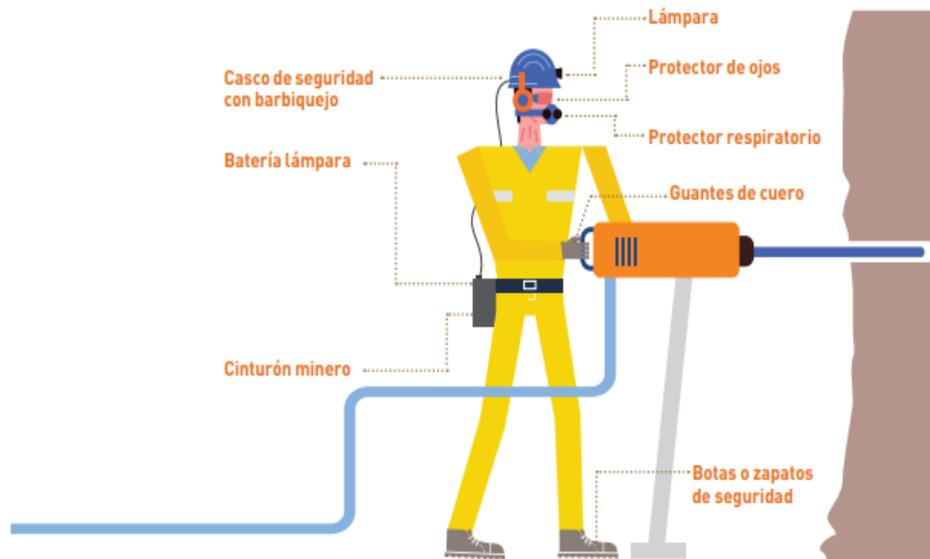
Fuente. Ministerio de educación. 2017 (65)

a. Perforación de barrenos: antes de dar inicio a esta primera operación, es indispensable asegurar dentro de las galerías o túneles de exploración que existan refuerzos o fortificaciones que eviten posibles derrumbes. El **NIOSH**, Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (66), señala que las actividades que están relacionadas con accidentes y muertes por derrumbes son: *el saneado de techos y paredes en un 47%, manejo de explosivos un 24%, otras actividades 10%, fijación de techos con pernos 8%, cara de perforación 6% y manejo de suministros 5%*. Las recomendaciones que provee el **NIOSH** para evitar accidentes y muertes por derrumbes en actividades mineras indican *cestas, saneadores mecánicos, fijadores mecánicos de techos, cambios del acero en las picas, equipos de protección personal, y adiestramiento* (66).

Este primer paso de perforación, es el alistamiento de un lugar para pasar a la voladura, se requiere de un perforista experto, quien posee los conocimientos y habilidades para ser operador de sondeo; adicionalmente, opera personal auxiliar entrenado en maquinaria y equipos, así como en seguridad minera. De acuerdo con el método utilizado correspondiente a la dimensión minera, este proceso se realiza de manera manual, hidráulica, con martillos neumáticos o jumbo de perforación (67), el éxito de este proceso está en realizar una adecuada perforación, la cual depende de la dureza y agresividad de la roca, importante para el control al polvo de carbón, que nunca se haga la perforación en seco, debe humedecerse el área de trabajo y nunca cargar los explosivos al frente de trabajo sin antes terminar esta operación (68).

Se realiza con la percusión y giro continuo de un barreno, el cual corta la roca, que tiene como propósito generar huecos en el macizo rocoso donde se ubicarán las cargas explosivas (69). De acuerdo con la Sociedad Nacional de Minería (SONAMI), que representa en Chile la actividad minera (70) señala que esta actividad es de alto riesgo para la salud de los mineros, la propia actividad genera polvo de carbón y su control requiere la operación de humedecer las zonas de perforación para mantener la calidad del aire, un control de barrera que minimiza el riesgo de enfermedad profesional. Es indispensable que el personal a cargo de esta actividad tenga la dotación adecuada que involucra botas de seguridad, casco, protección auditiva, entre otros como indica la figura 12 (70).

Figura 12. Dotación de personal a cargo en la actividad de perforación



Fuente. SONAMI. 2014. (70)

b. Voladura: en esta etapa, se requiere de profesionales con experticia profunda en el manejo de explosivos, la explosión debe ser controlada para garantizar un trabajo seguro, se realiza con el fin de lograr una correcta fragmentación de la roca. En Colombia las entidades autorizadas para formar, acreditar y expedir un certificado de experticia en explosivos son: el **SENA** (Servicio Nacional de Aprendizaje), comprometido en fortalecer las competencias integrales de los trabajadores en la operatividad de explosivos en la minería con la actualización en manipulación de sustancias explosivas y la Escuela de Ingenieros Militar (**ESING**), la cual expide certificados con una vigencia de un año en el empleo básico y elemental de explosivos comerciales en minería, la renovación de este certificado otorga tres años más de aplicabilidad (71).

Existe riesgo toxicológico referido a glicoles nitrados, dentro de los cuales está la nitroglicerina, sustancias que son vasodilatadores, las cuales pueden provocar fuertes dolores de cabeza por inhalación o absorción a través de la piel (72). Con lo anterior, es de suma importancia tener personal capacitado y especialista en temas de voladuras para evitar accidentes o incidentes laborales.

De acuerdo con Seguridad Minera (73), los accidentes que se presentan en esta etapa se deben en un 80 a 90% a la falta de cuidado operativo en el que se desarrollan actividades negligentes, relacionadas con la falta de atención, trabajo bajo los efectos de drogas y alcohol, actuar precipitadamente, por curiosidad, malos hábitos laborales o por el exceso de confianza que la labor diaria les provee. Los riesgos

predominantes en el uso de explosivos además de los mencionados, tienen que ver con trozos de fragmentos que pueden dispararse a diferentes direcciones con la explosión, igualmente la vibración y ruidos deben tenerse en cuenta para una labor segura, en el caso de la minería de socavón los derrumbes y la diseminación de humos pueden ocurrir por un inadecuado manejo de los procesos de voladura.

La normativa colombiana referente al manejo de explosivos, está referida en los decretos 1335 de 1987, específicamente en el título VI denominado explosivos, artículos 85 a 127 (48) y el decreto 2222 de 1993, título II, Artículo 35 a 81 (74). En el caso del primero, referente a minas de carbón, indica la obligación de realizar antes de la voladura, una inspección de las concentraciones de metano en el frente de trabajo, la cual no debe ser igual o mayor a 0,5%; adicionalmente, se debe tener el área exenta de carbón o roca, se sugiere humedecer, paredes, pisos y techos y neutralizar el polvo de carbón a una distancia de 15 metros desde el frente de trabajo (48).

Con respecto al segundo decreto, establecen la normatividad en el transporte y almacenamiento de los explosivos; igualmente, refieren a la industria militar **Indumil**, como la entidad que maneja las normas y especificaciones técnicas en el manejo de explosivos, estas normas rigen a la minería de carbón por el uso de explosivos en sus labores (74). Rojas y Tajan (75) señalan que la normatividad colombiana de seguridad de ventilación y control de polvos en las explotaciones mineras, indica que, una vez realizada la voladura, se debe mantener distante a cualquier persona del frente de trabajo y esperar al menos 30 minutos para continuar

las labores, esto con el fin de garantizar que el área de trabajo cumple con los valores permisibles de gases y polvo, los cuales serán mencionados en el siguiente paso, ventilación (76)

- c. **Ventilación:** Este sistema debe ser cuidadosamente implementado y bajo las especificaciones estrictas de seguridad, debido a que es un recurso fundamental que debe garantizar las condiciones atmosféricas necesarias para los trabajadores en la actividad minera. Positiva Compañía de Seguros (43), apoyado por entidades del gobierno, establecieron una Guía de Seguridad para la Ventilación en Minas Subterráneas, teniendo en cuenta la normatividad colombiana que refiere aspectos de la minería como son: Ley 685 del 2001, Decreto 35 de 1994, Decreto 1886 de 2015, Decreto 1072 de 2015, Resolución 368 del 26 de mayo de 2016 y Resolución 958 de 2016.

En dicha guía, señalan que este proceso implica dejar pasar un flujo de aire que mantenga condiciones óptimas de salubridad para los mineros, el aire debe estar exento de gases, humos, vapores o polvos nocivos o inflamables; siendo así, se deben mantener condiciones de oxígeno que permitan la respiración al interior de la mina; que como indica la normatividad del decreto 1886 de 2015 en el artículo 38, debe mantenerse una atmósfera que no debe ser inferior a 19,5%, o más del 23,5% en volumen de oxígeno. Por el ambiente cerrado, las máquinas y el flujo de personas, existe la necesidad de una adecuada climatización con el fin de lograr un trabajo más agradable y mantener al interior de la mina los valores permisibles de gases, estos gases presentan una clasificación como: asfixiantes, tóxicos y explosivos (43).

Las necesidades anteriores hacen de este paso sea de gran importancia para la productividad y seguridad de los mineros, de otro lado, el decreto 1886 de 2015 en el artículo 35 (12), determina la necesidad de establecer un plan de ventilación en las labores subterráneas de minería, dicho plan deberá contener:

En primer lugar, la denominación de la mina o labor subterránea, nombre de la empresa y de la persona responsable del plan de ventilación. De igual manera, se deberá identificar la persona o personas autorizadas para supervisar actividades referidas a la inertización de la mina cuando sea el caso, suspensión de la ventilación, mantenimiento, reparación, actividades de prevención y las actividades contempladas en el artículo 45 y el parágrafo 4° del artículo 46 del Decreto 1886 de 2015 (12).

Es indispensable que se tengan disponibles de manera permanente las ubicaciones en plano y las condiciones operativas de los ventiladores; así como, de los dispositivos de ventilación, tales como reguladores o puertas reguladoras y conectores utilizados para controlar el movimiento del aire con áreas explotadas y ventiladores auxiliares cuando se requiere una cantidad mínima de aire en un frente de trabajo (12).

Con respecto a los puntos de aforo se requiere contar con la ubicación de los lugares donde se realizarán las mediciones de material particulado, gases explosivos y tóxicos, temperatura y de caudal de aire.

Se debe contar con todos los registros referentes al nivel ambiente en partes por millón de monóxido de carbono, oxígeno y metano, en todos los puntos donde se realice monitoreo continuo; de igual manera, el registro de protocolo de mantenimiento de los ventiladores y de las capacitaciones realizadas en temas de ventilación al personal minero.

Además de las regulaciones ya mencionadas, se hace obligatorio comprobar una adecuada ventilación de manera constante y suficiente, a fin de mantener una atmósfera limpia y respirable en todos los lugares de las labores mineras subterráneas, la tabla 9, indica los valores establecidos por la **ACGIH** de gases permisibles en un trabajo subterráneo con jornada de ocho horas (77).

Cabe señalar que en el decreto 1886 de 2015, en el artículo 39 (12), se exponen valores adicionales para otras sustancias como anhídrido sulfúrico (SO₂) de 1PPM (TLV-TWA), Óxido Nítrico (NO) de 25 PPM y difiere el valor en el Dióxido de Nitrógeno (NO₂) con respecto al mencionado en la tabla 9, siendo para el reglamento colombiano de 0,2 PPM.

Es importante En el artículo 39 del decreto 1886 de 2015 (12) se relaciona El Nivel Permisible de Exposición a monóxido de carbono que señalan diversos organismos internacionales, indicando lo siguiente:

Occupational Safety and Health Administration (**OSHA**), indica 50 partes por millón (PPM) promediado como el promedio del tiempo de peso de 8 horas (**TWA**: Threshold Limit Value - Time Weighted Average (TLV-TWA) o Valor Umbral Límite - Media Ponderada en el Tiempo, es el valor límite ambiental publicado por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (**ACGIH**)).

El Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional (**NIOSH**) establece un límite del techo (nivel de exposición que nunca debe excederse sin importar las 8 horas de TWA) de 200 ppm.

La Conferencia Americana Gubernamental (**ACGIH**), que representa a los higienistas industriales indica que El valor del Límite es de 25 ppm de un tiempo de 8 horas de TWA.

Tabla 9. Valores mínimos permisibles de gases contaminantes en minería

Gases	Formula Química	Alarma baja	Alarma alta	TWA	STEAL
Dióxido de Carbono	CO ₂	0,5% Vol.	1% Vol.	0,5% Vol.	3 % Vol.
Monóxido de Carbono	CO	25 PPM	50 PPM	25 PPM	400 PPM
Sulfuro de Hidrógeno	H ₂ S	1 PPM	5 PPM	1 PPM	5 PPM
Oxígeno	O ₂	19,5% Vol.	23,5% Vol.	----	----
Metano	CH ₄	0,5% Vol.	1% Vol.	----	---
Dióxido de Nitrógeno	NO ₂	3 PPM	6 PPM	1 PPM	5 PPM

Fuente. ACGIH, American Conference of Governmental Industrial Hygienists (77)

d. Arrastre: en esta actividad, una vez queda expuesto el carbón, se procede a realizar el levantamiento y limpieza manual o mecanizado con rezagadora para llevarlo desde el frente de trabajo hasta la vía principal de la mina, esta labor, un minero la realiza con estopa, pala cargadora o en canecas plásticas, para ubicar en los carros o cintas transportadoras (68). El Mintrabajo (76), en Colombia en la guía técnica de seguridad para el uso y manejo de explosivos, define este paso como *“fragmentación del macizo rocoso hasta llevarlo a un tamaño que permita su manipulación para ser cargado y transportado. El arranque puede ser realizado con métodos mecánicos (forma continua y discontinua) y también por medio de la perforación con sustancias explosivas (forma discontinua)”*

e. Carga y transporte de la roca o mineral: identificado el mineral con la calidad requerida, los mineros a través de pala manual, neumática, electrohidráulica, tuneladora, cargador especial realizan el transporte del mineral para los centros de acopio para su respectivo procesamiento, actividad que realizan a cielo abierto.

f. Lavado y selección: Se busca la reducción de cenizas, el lavado puede ser en seco, en húmedo o la técnica de flotación por espuma, donde los carbones finos al contacto con la humedad flotan (68)

g. Almacenamiento: Se requieren especificaciones de almacenamiento como la elección de un lugar nivelado, firme, sin grietas y con un drenaje adecuado. Las pilas de carbón deben tener condiciones de ventilación que permita el flujo de aire, manteniendo un registro de vigilancia de la temperatura.

El tipo de explotación de carbón subterránea o de socavón, es un tipo de explotación productiva minera, que se realiza bajo la superficie para extraer el mineral del subsuelo, es una actividad con un entorno de trabajo completamente cerrado por el medio geológico; el acceso a la veta de carbón es a través de caminos temporales, túneles, ventanas, rampas, piques, cavernas, bocamina o emboquille, cuartel, galería, cruceros de acceso, pozo, chimenea, conductos y/o cámaras especiales, implica voladuras para la perforación, lo cual permite, la instalación de servicios para actividades de: ventilación, circulación de maquinaria, personas, manejo y drenaje de aguas y energía. Comprende aspectos técnicos ambientales, sociales y económicos. Existen diferentes maneras o métodos para la exploración, explotación y extracción del carbón en mina subterránea, La seguridad

depende de la elección del método de extracción, altura de cámaras y normas de control de suelos, una adecuada técnica evita riesgos de derrumbes.

7.2.1.4. *Métodos de extracción en la minería subterránea (78, 79, 80)*

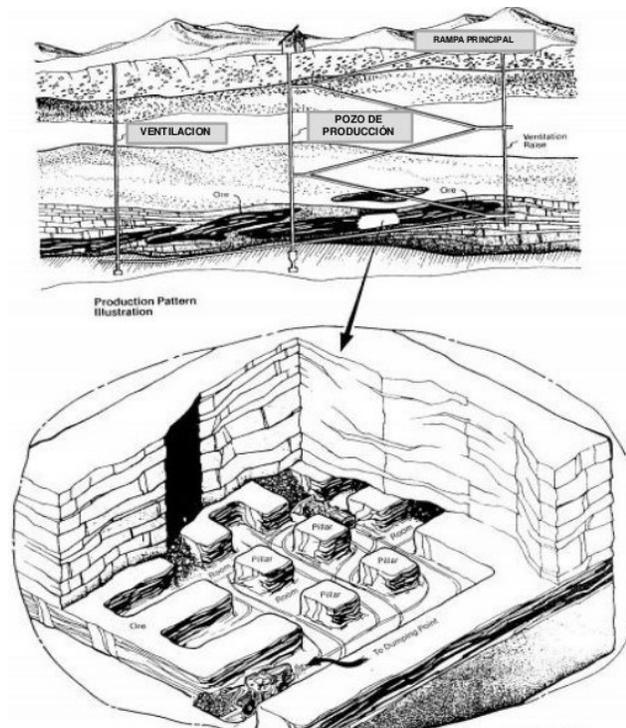
a. *Método de filones planos con cámaras y pilares:*

Son secciones de roca que pueden ser cuadrados, rectangulares o irregulares, largos, de costilla, puentes o de corona. Son autosoportantes; es decir, se extrae el material y queda una cámara vacía que de manera natural se mantiene estable. Se realizan varios caminos paralelos a las vetas de carbón, Se distinguen dos sistemas para operaciones de socavación, perforación, voladura y carga (78); en el sistema convencional, los procesos mencionados se realizan con máquinas separadas y equipos de trabajo; en el sistema continuo, hay una máquina y un minero, que arranca el carbón de la superficie y lo carga directamente en una unidad de acarreo (79).

Se debe extraer una fila de pilares a la vez, cuidando la presión excesiva del techo, una tensión inadecuada puede generar riesgos de caídas de rocas o derrumbes poniendo en peligro a los trabajadores. Este método es el más antiguo en las minas de carbón, se utiliza en vetas delgadas de carbón, es una técnica flexible y segura comparado con el método de tajos largos. Se excavan galerías o vías en suelo horizontal o ligeramente inclinado, sin exceder los 30 grados. Se extrae el mineral perforando horizontalmente y avanzando de frente en explotación múltiple, dejando cámaras o espacios vacíos detrás de él. Los pilares se van dejando entre las cámaras para evitar el hundimiento del techo. está técnica va desde trabajo manual excesivo a la mecanización de su proceso dependiendo de la inversión realizada.

La figura 13 (79), representa una mina de carbón, en la cual se amplifica un espacio que identifica una de las técnicas más utilizadas para la extracción de carbón, llamada cámaras y pilares planos cuadrados.

Figura 13. Técnica de explotación por cámaras y pilares



Fuente. Soto, A, Cámaras y pilares, 2015 (79)

b. Método de filones inclinados con pilares:

Método tradicional de extracción en suelo liso, inclinación de 15 a 30 grados sobre el plano horizontal, es de exploración manual principalmente con alto grado de dificultad para los mineros, se hacen perforaciones horizontales, se utiliza la extracción en “escalón”

creando una fuerte inclinación, los mineros trepan por montones de rocas. Es un método autosoportante o con mínimos esfuerzos de soporte para generar estabilidad.

c. Método de franjas/almacenes.

Es un método “clásico”, sustituida por métodos mecanizados, se aplica a filones con límites regulares y fuerte inclinación, usa la fuerza de gravedad para el tratamiento del mineral, lo que evita la carga manual porque cae el mineral a través de canaletas directamente a vehículos. Se avanza hacia arriba desde el tajo en planchas horizontales. Método autosoportante o con mínimos esfuerzos de soporte para generar estabilidad.

d. Método de sistema de corte y relleno

Es un método que requiere elementos de soporte para mantener la estabilidad, se rellenan los espacios extraídos con material exógeno. Para filones de gran inclinación (50 grados), se extrae en planchas horizontales con corte en forma de base y avanzando hacia arriba, cada tajo donde se ha extraído de manera selectiva el mineral, se limpia y se rellena de nuevo para formar una plataforma de trabajo y así extraer en la siguiente plancha, esto ayuda a mejorar la estabilidad de los muros del tajo.

e. Método de sistema de retirada mediante cráteres verticales:

Para extracción de gran inclinación, se hacen voladuras en forma de cono, hay baja estabilidad de la roca, se usan sistemas de tajos primarios y secundarios, donde el primero

una vez trabajado se rellenan con material cementado y se deja compactar. Se obtiene un 100 % de mineral.

f. *Método de hundimiento de subniveles*

Las cavidades generadas por extracción se van rellorando simultáneamente con material superpuesto. Requiere profundidad e inclinación moderada, se fractura el mineral mediante voladura, el techo y el suelo se hunden para extraer el mineral, se abren subniveles con galerías de forma regular.

g. *Método de hundimiento en bloque:*

Los vacíos generados por la extracción se van rellorando simultáneamente con material superpuesto. Aplicable a filones específicos por ser un sistema para explotaciones de más de 100 millones de toneladas, está perfilado para minas de cobre, diamantes, hierro y molibdeno.

h. *Método de tajos largos:*

Para filones de forma uniforme, grosor limitado y extensión horizontal amplia, es el más usado en minas de carbón, se extrae el mineral en láminas, incluye una red de galerías para acceder y acarrear el producto, el arrastre se realiza en la propia veta del carbón; es decir, a medida que se va agotando la veta se va hundiendo el techo. Se hacen cortes del carbón con rozadora eléctrica, se carga el carbón en cinta transportadora para su acarreo hasta la superficie. Este sistema, en comparación con el de cámaras y pilares, provee una extracción

total del panel en una sola pasada, es poco flexible y costosa. Este proceso en operaciones manuales o con maquinaria, toman el carbón extraído y se perfora para hacer trozos más pequeños, el cual se carga en un transportador. El ciclo de corte, perforación, voladura, carga, soporte de techo y desplazamiento del transportador se repite hasta que se extrae todo el bloque. (79, 80)

7.2.1.5. *Operaciones auxiliares y unitarias en las minas de socavón:*

Las operaciones auxiliares son aquellas actividades que permiten realizar un trabajo seguro y productivo. De acuerdo con Evans y Ramani (80) tiene que ver con control de tierra, ventilación, transporte, drenaje, suministro de energía, iluminación y comunicaciones. Con respecto a las operaciones unitarias, se menciona que tiene que ver secuencialmente con el ciclo de producción y hacen referencia a cortar y transportar el carbón y dar estabilidad al techo durante el proceso de extracción, estas operaciones son de gran importancia porque aportan no solo a la productividad; sino también, a la salud y seguridad de la labor minera.

7.2.2. *Caracterización de la organización del trabajo minero*

7.2.2.1. *Gestión organizacional*

La industria minera es un sector que como bien se ha dicho se clasifica dentro de los trabajos con alto grado de peligrosidad, a pesar de representar el 1 por ciento de la fuerza laboral en el mundo, es en este sector donde el 8% corresponde a los accidentes mortales laborales (8).

Los datos referentes a la gestión organizacional del sector minero son escasos; sin embargo, el censo realizado en 2010 y 2011 por el MinMinas (62), muestra un panorama estadístico que puede evidenciar el contexto laboral que se presenta en el trabajo minero, de esa manera, muestra cifras tales como los de la ilegalidad en el sector, referentes al 66%, como bien lo menciona el MinMinas, se percibe una realidad parcial, debido a que el censo no cubre la totalidad de la minería colombiana por razones referidas al conflicto, escaso apoyo económico a la investigación y minería insipiente.

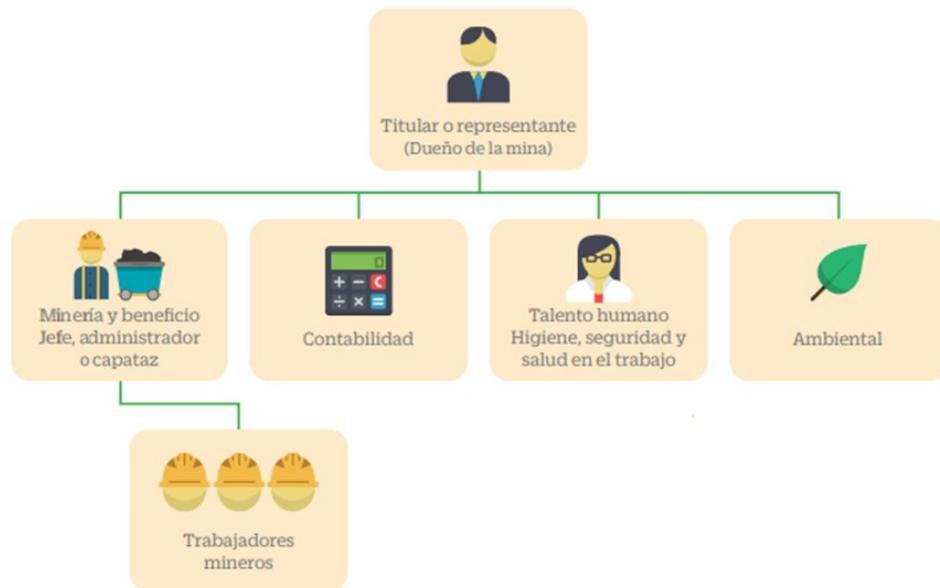
Palomino (81) señala que el sector minero, especialmente la pequeña minería, ha ganado fama de ilegales, razón que no ha sido favorable para establecer una organización de explotación de carbón y cumplir con todos los requisitos legales y normatividad para la formalización.

Para establecer una minería más tecnificada y organizada, el panorama se vuelve desolador, Pujol y Murillo (82) de Alianza por la Minería Responsable (**ARM**), señalan que los accesos a financiamiento se hacen difíciles, debido a que un análisis costo/beneficio realizado por expertos del sector bancario y; no del minero, se basan en prejuicios que dejan por fuera de un crédito a los clientes mineros, los riesgos son altos en una mina, se

presenta alta informalidad, las maquinas no son garantía, el resultado de la explotación ya está comprometida en la operación; además, el manejo financiero y contable que realizan estas pequeñas y medianas empresas es deficiente.

Con respecto a la estructura organizacional, Alianza por la Minería Responsable (AMR) (83) representa un esquema; figura 14, donde permite observar y sugerir una división de las funciones del trabajo en una minería, lo que guía para el establecimiento de los recursos humanos.

Figura 14. Estructura organizacional básica de una mina



Fuente. AMR (Agencia por la Minería Responsable) (83)

Los mineros de socavón en el esquema anterior, se encuentran en el eslabón más bajo de los recursos humanos; no por eso, dejan de ser parte importante de esta labor, su esfuerzo revela la necesidad de establecer rigurosidad en las formas de gestión organizacional que

les brinde beneficios como cualquier empresa de otro sector, teniendo en cuenta que los riesgos en la labor son de alta peligrosidad.

7.2.2.2. *Características de la organización del trabajo:*

De acuerdo con la OIT (8), en referencia a los trabajos más peligrosos, sostiene que, en la minería, existen condiciones de trabajo en la que los mineros deben realizar explotaciones de carbón sin luz natural o ventilación, cuando deben realizar la labor de hacer huecos a pica y pala para eliminar materiales, sin las condiciones de protección adecuada, los mineros se ven expuestos a enfermedades profesionales que son incurables, como la neumoconiosis, pérdida de audición y consecuencias por la vibración constantes que se deriva del uso de maquinaria.

Güiza (84) señala que la operación minera a pequeña y mediana escala se lleva a cabo de manera rudimentaria y en zonas rurales donde se convierte en fuente de empleo para muchas personas que requieren de necesidades básicas con las que generalmente no cuentan y deben someterse a las condiciones que trae esta labor minera; en este contexto se utiliza mano de obra barata, maquinaria y equipos en condiciones poco favorables, que se caracterizan por ser portátiles y simples.

Con respecto a la contratación de mineros, existe contratación directa a término definido e indefinido; sin embargo, teniendo en cuenta la informalidad del sector, Rosso (85) señala que es común encontrar contratos verbales y formas de contratación ilegales; sin embargo, es necesario alentar a los mineros, especialmente, artesanales y de pequeña empresa, a encontrar alguna gestión organizacional que propenda por la legalidad y adecuadas

relaciones contractuales que brinden condiciones sociales, económicas, ambientales y personales; así como, el desarrollo de competencias técnicas de explotación de carbón.

Basado en el trabajo realizado por Nocua (86) en una mina de Carbón, se revela que, en los niveles operativos la contratación se realiza de manera definida en un contrato menor a un año, con pagos quincenales y prestaciones de ley; de igual manera, se perciben contratos verbales y pagos al destajo; en el censo minero (62), la predominancia está en la modalidad al destajo con un 41,4%; correspondiendo un 34,3% en minas con título minero y un 65,7% en las que no tiene este título.

Ospina, Manrique y Guío (87) indican que en la minería de carbón es frecuente el pago por carbón producido o cargado; el pago a destajo de acuerdo con OIT (88), se refiere a la remuneración que se da a un trabajador por la prestación de un servicio u obra realizada, generalmente, estos trabajadores están presentes en labores informales y prevalece en ellos una situación de vulnerabilidad.

Güiza (84) refiere que un minero devenga aproximadamente 1,2 salarios mínimos legales mensuales vigentes, lo cual correspondería al valor actual del salario mínimo colombiano de 2019 a \$993.739 pesos colombianos, esta suma puede variar porque no existe una relación o estudios que den fe de estos datos numéricos y otros aspectos de la minería que refieren una labor inconstante, teniendo en cuenta que en la organización del trabajo minero pueden existir familias que explotan una mina, comunidades étnicas, pequeños grupos de personas, cooperativas y hasta grandes empresas.

De esa manera, una estructura organizacional en una mina dependerá de su dimensión, capacidad financiera, legalidad, métodos de explotación y conocimiento; sabiendo la

precariedad del trabajo, es entendible encontrar personas con bajo nivel educativo y que ni siquiera saben leer; de manera que, entender las normativas que favorecen su salud y protección les resulta difícil.

Otro aspecto relacionado a la protección y salud de los trabajadores tiene que ver con su afiliación al sistema de seguridad social, donde, solo un 69,5% está inscrito, cifra no específica en minería de carbón (86).

El censo del MinMinas (62) como ya se mencionó, refiere estadísticas; donde, 28% implementa un **SG-SST**, y un 72% no lo implementa, solo un 15% de las minas que no tienen título minero, tiene acciones de seguridad, higiene y salud para los trabajadores mineros.

En lo que respecta a la afiliación al régimen contributivo, solo un 27,6% está afiliado, un 54,1% está en el régimen subsidiado y un 18,8% no tiene ninguna contribución, estos últimos datos del censo minero, relacionan a quienes tienen título minero; sin título minero, las cifras son una alarma a la salud de los mineros de Carbón en Colombia y; por tanto, un referente para establecer investigaciones científicas y programas de higiene laboral que propenda por la salud en el sector minero.

Con respecto a los horarios de trabajo, el estudio realizado por Ospina, Manrique y Guío (87) en una mina de Paipa Boyacá, encontraron que los mineros realizan turnos diarios de siete horas, con descansos de dos horas. De otro lado, Nocua (86) menciona, que los horarios dependen de las condiciones de la mina y la planeación de producción; generalmente, se trabaja de lunes a viernes de 6:00 a.m. a 11:00 a.m. retornando de 2:00 p.m. a 4:00 p.m. y sábado de 6:00 a.m. a 11:00 a.m., completando 45 horas semanales; los

datos presentados en los estudios referidos con respecto a horarios de un minero, están muy relacionadas con las cifras que presento el MinMinas (62), donde señalan 22 horas semanales de trabajo, un turno diario y ocho horas trabajadas por turno.

Jiménez, Zabala e Idrovo (89) encontraron en una mina de Cundinamarca, que, del total de 144 participantes en su estudio, un 69,5% permanecían la mayor parte de su jornada laboral en socavones y describían su lugar de trabajo encerrado, un 70,1%, refiriendo ocho horas de labores diarias, con turno rotativos de mañana, tarde y noche.

El estudio realizado por Echeverry y Campo (90) en una mina en Boyacá, refiere que los mineros operadores se contratan por obra o labor, donde su personal es masculino y trabajan ocho horas diarias de lunes a viernes, con descansos de dos horas y el sábado refieren trabajo de seis horas.

De igual manera, el estudio presentado por Hoyos y Martínez (91) refieren el mismo tipo de contratación por obra y labor del personal operativo, con la predominancia de ocho horas de lunes a viernes y sábado de seis horas, la diferencia en este estudio se presenta en que es un turno de lunes a viernes sin descanso; es decir, de 7:00 a.m. a 3:00 p.m.

La investigación en minas de Titiribí en Antioquia realizada por Pérez (92) indica que cuando llega la época de invierno o las lluvias son muy intensas, las labores mineras deben suspenderse para evitar riesgos, debido a que pueden ocurrir inundaciones.

Los trabajos investigativos mencionados refieren que todos los mineros cuentan con las prestaciones de ley vigentes señaladas en el código sustantivo del trabajo colombiano (93); así mismo, se denota el cumplimiento de la regulación de horas laborales dispuestas en la ley 50 de 1990, artículo 20 (94) que señala la duración máxima legal de la jornada ordinaria

de trabajo; la dotación dispuesta en la ley 11 de 1984, artículo 7 (95) que refiere el suministro de vestido y calzado de labor.

En el estudio con 144 mineros; Jiménez, Zabala e Idrovo (89) encontraron que los operarios perciben exponerse a condiciones adversas en su lugar de trabajo porque frecuentemente el ruido es muy fuerte, la respiración es deficiente por sustancias químicas que están en el ambiente y son percibidas como partículas abundantes de polvo; señalaron además que, quienes hacen las labores de picar (piqueros) deben mantener posturas forzadas e incómodas por la estrechez del espacio.

En el caso de frenteros, cocheros y patieros, sus labores los obliga a permanecer de pie, a diferencia de los malacateros, quienes deben permanecer sentados, lo cual refiere que son posturas y movimientos repetitivos.

Con respecto al hábito de consumo nutricional y bebidas, Ospina, Manrique y Guio (87), encontraron que la fuente de alimentación del minero representaba altas calorías; como papa, arroz, pasta y hortalizas; esto, a razón de la disponibilidad de dichos alimentos en sus lugares de vivienda rural, que provenían de la tierra labrada por sus familias en el hogar.

De otro lado, las bebidas alcohólicas y el cigarrillo son predominio de la actividad minera, los mineros lo refieren como la manera de intercambio social y recreación.

7.2.2.3. *Características del grupo social que trabaja en la minería de carbón de socavón*

La investigación realizada por Jiménez, Zabala e Idrovo (89), encontró que la mayoría del personal que labora en minería es de género masculino, con edades que comprendían entre los 18 y 77 años, donde el predominio se encuentra en los 30 años (84, 85), muchos solo permanecen un año, pero en otros casos hasta 46 años de labor minera, siendo la media 6 años, con respecto al papel de la mujer en la minería, un estudio realizado en una mina en Boyacá, mostro que un 60% de las encuestadas viven en condiciones desfavorables en zonas rurales de estrato 1 (87).

La OIT (96), señala que la mujer en el sector minero representa un 50% de la fuerza de trabajo en lo que refiere la minería a pequeña escala, a pesar de ser un alto porcentaje, sabiendo de antemano que es una labor vinculada al género masculino, la remuneración presenta desigualdad, debido a que perciben salarios muy inferiores a los varones en el sector.

Sin embargo, la OIT, se esmera en defender la inclusión de la mujer y la igualdad de derechos al trabajo; por lo tanto, en 2001 propuso el proyecto comunidades y minería a pequeña escala (**CMPE**) para promover mejores condiciones laborales en el sector y disminuir la pobreza que les rodea (96).

Garrote, Malagón, Morgan, Combariza y Varona (97) en la investigación realizada a 170 mineros de socavón en minas de Boyacá, describe una población de trabajadores de género masculino, donde la edad promedio es 40 años, con estudios de primaria en un 72% y un

76,4% reside en áreas rurales de estratos uno y dos, el 50% desarrolla sus tareas manualmente.

El cargo con mayor presencia es el picador, un 81,2% ya tiene familia constituida y dicha población presenta una antigüedad promedio de 17 años en la labor de minero.

Fedesarrollo (98) en el informe final presentado al Ministerio de Minas y Energía en 2011 refiere la descripción del perfil cultural de los mineros y el negocio del carbón de la siguiente manera: los boyacenses son más dedicados y responsables a la labor, es un negocio que se maneja entre miembros de la familia, es empírico y lento, la personalidad del minero se define en personas recias, fuertes e incansables, desconfiados, individualistas e inseguros con respecto a los de poder adquisitivo en la minería, señalan que prefieren la minería a la agricultura por ingresos más favorables.

A los mineros los motiva su pago puntual, generalmente gastan su dinero en el fin de semana en cerveza y licor; no se perciben hábitos de ahorro y; su salud es un factor importante pero no es prioridad; por tanto, la enfermedad a largo plazo no la contemplan como algo para preocuparles en el hoy.

La descripción anterior conlleva a realizar un análisis profundo de las condiciones culturales y sociales de los mineros y la problemática que se desencadena a la salud pública, siendo el papel de la higiene industrial fundamental para este sector y el establecimiento de políticas de prevención y educación en la minería.

El artículo 35 del código de minas (99), refiere zonas que están restringidas para la labor minera, excepto si se cuenta con permisos adicionales; sin embargo, se conoce de atentados contra el proceso de consulta que debe realizarse conforme a lo señalado en Ginebra en

1989 a través de Convenio núm. 169 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) de Naciones Unidas (100) por el cual se aboga al respeto de los derechos de grupos que se encuentren en desventaja como las comunidades indígenas; por lo que es conocido en Colombia conflictos relacionados con reubicaciones, desplazamientos y desalojo de poblaciones pasando por encima de lo que dictamina la ley.

En el censo Minero realizado en 2011 por el **MinMinas** (62), se estima que un 10% de las comunidades étnicas están asociados a la labor minera. En cifras más detalladas, el censo categoriza y promedia que la presencia de grupos gitanos está en un 32,4% en minas con título minero y 67,6% sin dicho título, afrocolombianos se estima que un 9,5% está presente en minas con título minero y 90,5% sin título minero, raizales caribeños se estiman en 13,3% con título minero y 86% sin título minero.

Finalmente, indígenas con título minero representa tan solo un 16 % a diferencia de quienes están vinculados en minas sin título minero en un 84%; los datos mencionados evidencian la desigualdad de oportunidades y el desacato al convenio 169 de la OIT, donde la vinculación de grupos en desventaja se realiza con irregularidades y en minas que no tiene una concesión de trabajo autorizada y ordenada, de ahí que puede inferirse que las condiciones de seguridad y salud en el trabajo son deficientes y con alto riesgo para salud pública a largo plazo en comunidades que presentan condiciones socioeconómicas débiles.

De acuerdo con Serrano, Martínez y Fonseca (101) en su investigación en 14 minas ilegales de Sogamoso, evidencia un 93% de explotación de carbón en dicha zona, otros se dedican a la de arena con un 7%, al encuestar a 50 mineros, encontraron que es fácil

acceder a explotar minas de carbón sin tener los títulos requeridos, lo cual no se realiza por falta de dinero; adicionalmente, un 25% desconoce la normatividad necesaria.

Lo anterior sigue siendo una barrera que impide llevar a cero la accidentalidad y enfermedad de los trabajadores mineros de socavón, así mismo, concuerdan con los resultados obtenidos de analfabetismo presente en la minería, el cual reporta el censo minero (62), en un 37,3% en minas legales y un 62,7% sin título minero, siendo este factor una barrera que impide la comprensión y dimensión que lo que implica la higiene industrial en el sector minero para la protección y seguridad de todas las personas.

7.2.2.4. Condiciones de la tarea minera de socavón

En minas de socavón los principales cargos y tareas de mineros que permanecen en profundidades de acuerdo con Jiménez, Zabala e Idrovo (89) se visualizan en la tabla 10, siendo el frentero, piquero y cochero quienes laboran en los frentes de trabajo y tiene mayor contacto con el polvo de carbón, estos cargos son los que requieren un alto seguimiento en la valoración de las enfermedades laborales por exposición al polvo de carbón.

Tabla 10. Cargos en los frentes de una mina de Carbón con la descripción de sus tareas y características del puesto.

Nombre del cargo	Responsabilidad minera	Características de la tarea
Frentero	Abrir el sendero para la explotación del manto de carbón e instalar el mantenimiento de la mina,	Su labor se realiza de pie, las herramientas que manipula son pica, pila y martillo neumático, carga y descarga de materiales de sostenimiento, generalmente, madera, manipula explosivos para la etapa de voladura.
Piquero	Es quien realiza la explotación del manto de carbón	Su posición en la mayoría del tiempo es forzada, herramientas de manipulación pica, pala y martillo neumático
Cochero	Transporte, carga y descarga de coches de carbón	Permanentemente está desplazándose en los corredores de la mina, sus herramientas son la pala con la cual realiza las cargas, su trabajo es de pie y debe realizar esfuerzos físicos que requieren del empuje del coche que va del 1 a 4 toneladas.

Fuente. Jiménez C., Zabala I. e Idrovo A. 2015 (89)

Las partículas respirables, de acuerdo con la normatividad colombiana tienen una clasificación conforme el diámetro de la partícula, la tabla 11, señala los niveles máximos permisibles que establece el Ministerio de Ambiente en la resolución 2254 del primero de noviembre de 2017 en el artículo 2 (102), con referencia a la minería son permisibles PM10; es decir, un material particulado con un diámetro medio de 0.5-10 micrómetros, lo cual indica que en minas de socavón es obligatoria la protección respiratoria, a través de respiradores N95 que son certificados por OSHA (54).

Es indispensable que los mineros que están en los frentes de trabajo, acudan a su servicio médico a través de programas de prevención establecidos por los dueños y administradores

de las minas, para que se realicen pruebas de espirómetros, que es una herramienta médica útil para detectar la presencia de enfermedades laborales de carácter respiratorio, las cuales están asociadas a la labor minera y el tiempo prolongado que puede variar de 13 a 20 años de exposición al polvo de carbón, según estudios realizados por Varona et al. (45).

Tabla 11. Niveles máximos permisibles según la resolución 2254 de 2017 para material particulado y tiempo de exposición

Contaminante	Nivel Máximo Permisible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de Exposición
PM10 (material particulado menor a 10 micras)	50	Anual
	100	24 horas
PM2.5 (material particulado menor a 2.5 micras)	25	Anual
	50	24 horas
SO ₂ (Dióxido de Azufre)	50	24 horas
	100	1 hora
NO ₂ (Dióxido de Nitrógeno)	60	Anual
	200	1 hora
O ₃ (ozono)	200	1 hora
	100	8 horas
CO (Monóxido de carbono)	10.000	8 horas
	35.000	1 hora

Fuente. Minambiente. Decreto 2254 del 1 de noviembre de 2017. (102)

De acuerdo con Díaz (104) en la minería subterránea para la extracción y procesamiento del carbón, es necesario tener precauciones y controles al polvo de Carbón, de manera que, sugiere técnicas de aislamiento y disminución del polvo que se genera del mineral por medio de la aspersión de agua, perforación con inyección de agua, realizar la aspiración de

polvo en zonas estancadas, contar con sistemas adecuados y técnicos de ventilación en los frentes de trabajo.

En la minería de socavón, los trabajadores se ven expuestos bajo tierra a múltiples riesgos, de ahí que el 60% de los accidentes corresponda a la minería del carbón (84). Se presentan los accidentes e incluso la muerte por derrumbes, golpes y lesiones por caída de rocas o las mismas condiciones de poca iluminación que hace a los trabajadores vulnerables a golpes en general (63); adicionalmente, a pesar de la ventilación, no sobra el riesgo de asfixia en caso de emergencias o daños en el sistema de aireación; así mismo, en los trabajos de excavación, la misma naturaleza del carbón hace que los trabajadores enfrenten a futuro enfermedades respiratorias incapacitantes.

Ahora bien, la manipulación de explosivos en las condiciones de la minería de socavón, se convierte en un riesgo inminente que requiere de atención exhaustiva y profesionalismo para evitar tragedias en este contexto organizacional.

7.2.3. Peligros y factores de riesgo asociados a la exposición al polvo de carbón desde una perspectiva de la higiene industrial.

Para el desarrollo del objetivo dos, correspondiente a determinar los factores de riesgo asociados a la exposición al polvo de carbón en la minería de socavón, se presenta a continuación la información más relevante encontrada en la revisión bibliográfica.

En Colombia, la minería de carbón de socavón está representada por dos grandes empresas que tienen la capacidad financiera para dar estricto cumplimiento a la normatividad y tecnología; Milpa y Carbocoque, a quienes los pequeños e incluso

medianos mineros les venden su producción, la cual es incipiente y sin mecanización o innovación; generalmente, su proceso de extracción está en la minería ilegal. Fedesarrollo (98) señala que ARL Positiva, tiene es sus registros entre 60.000 y 91.000 mineros vinculados.

La enfermedad denominada comúnmente como pulmón negro, se refiere clínicamente a la neumoconiosis de los mineros del carbón, la cual se desencadena por depósitos acumulados por años de polvo de carbón en los pulmones (105, 106), *el polvo es un aerosol formado por partículas sólidas inanimadas de origen inorgánico en concentraciones altas y muchas veces de origen ocupacional*, (107) en otros casos es paraocupacional; es decir, la afectación se traslada a personas que conviven con mineros, quienes en sus ropas de vestir transportan dichas partículas o quienes viven cerca de las minas o industrias (107).

AIHA, Industrial Hygiene Association (105) en un estudio de Neumoconiosis, señala que *"Respirar el polvo de la mina de carbón es la única causa del pulmón negro, y es completamente prevenible"*, el epidemiólogo David Blackley, menciona que *los métodos efectivos de control de polvo y las protecciones para reducir la exposición al polvo de las minas de carbón junto con la detección temprana de la enfermedad son esenciales para proteger la salud de los mineros".* p1

Como ya se ha dicho en este documento, en el proceso de extracción, los mineros están en contacto directo con las formaciones de polvo de carbón en los frentes de trabajo, sin embargo, la contaminación del ambiente por la dispersión de polvo del mineral en la etapa de transporte, también es un factor que contamina el aire; de manera que, no solo los

trabajadores y el ambiente son los únicos afectados en la salud, otras personas que viven alrededor de las minas, también pueden presentar deterioro en el funcionamiento pulmonar, desencadenando enfermedades como; **EPOC**, enfermedad pulmonar restrictiva, neumoconiosis y algunas neoplasias de los pulmones, estómago y colon.

En los frentes de trabajo de los mineros, la ruta de exposición al polvo, es por la inhalación de material particulado suspendido en el aire durante las labores propias del minero (ver tabla 11).

El polvo de carbón como material particulado clasificado como un riesgo químico, está asociado a la extracción del carbón con alta predominancia en la minería subterránea, los mineros que no cuentan con la protección respiratoria quedan expuestos para que a través de las vías respiratorias por inhalación tengan alto riesgo de sufrir enfermedades que les incapacita para respirar adecuadamente. Como ya se mencionó las partículas de más de 10 micras pueden ocasionar graves efectos por ser un material particulado que es capaz de atravesar por nariz y boca hasta llegar e ir acumulándose en los pulmones hasta que la sintomatología referente a problemas de respiración genera alertas y en casos ya alarmantes, un diagnóstico del pulmón negro que refiere la neumoconiosis. (102, 54)

De acuerdo con el informe presentado sobre el análisis de situación de salud en Colombia por el ministerio de salud y protección social en 2018 (108) las enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores fue la primera causa de muerte en 2016 con un 23,9% (13.530 decesos tasas ajustadas por cada 100.000 habitantes), con una predominancia en el departamento de Boyacá de 33,93%, el cual convoca la mayoría de mineros de socavón.

Uno de los principales retos de la OIT, se encuentra en promover la cultura de seguridad y salud en el trabajo, el convenio 187 de la OIT (109), el cual no ha ratificado Colombia, señala que: *“una cultura de seguridad es el fruto de valores, actitudes, percepciones, conocimientos y pautas de comportamiento, tanto individuales como de grupo, que contribuyen a la gestión de la seguridad y la salud, y su desarrollo es un proceso dinámico y progresivo”*. Con lo anterior, Colombia debe dar paso a la mejora continua de los proyectos encaminados a la prevención de las enfermedades en la salud de los trabajadores de las minas de socavón, la ratificación de normatividades frente a la OIT, en temas seguridad y salud se hace relevante como un requisito fundamental para dar inicio a los controles necesarios de prevención.

En el estudio del comportamiento de la enfermedad en Colombia 2015-2017; Pino y Ponce (110), refieren al analizar las enfermedades laborales por clase de riesgo; que la clase V en el cual se encuentra la minería, presenta una tasa del 66.5%, siendo este sector en el que presentó mayor tasa de enfermedad laboral. La tabla 12. Indica las enfermedades asociadas a la minería y canteras, refiriendo las del sistema respiratorio en un 10%, donde prevalece la neumoconiosis de los mineros de carbón (110).

Tabla 12. Porcentaje de enfermedades reportadas en 2017 en Colombia en el sector de minas y canteras

Enfermedades del sistema osteomuscular y del tejido conectivo	Enfermedades del sistema nervioso	Enfermedades del sistema respiratorio	Traumatismos, envenenamientos y algunas otras consecuencias de causa externa	Enfermedades del oído y de la apófisis mastoideas	Trastornos mentales y del comportamiento
54%	14%	10%	9%	8%	3%

Fuente. Pino y Ponce, 2019 (110)

El estudio realizado por Jiménez, Zabala e Idrovo (89) en 144 mineros de carbón reportaron cifras similares a las mencionadas en la tabla 12, siendo las enfermedades osteomusculares las que presentan alta predominancia con un porcentaje superior al 30% y con un 18% las enfermedades respiratorias, estas estadísticas referentes a las afecciones respiratorias podrían ser poco certeras, debido a que las enfermedades asociadas al polvo de carbón que afectan las vías respiratorias, tienen incidencia con varios años de exposición y no se revelan tan pronto como las osteomusculares; con mayores razones los estudios previos y las acciones preventivas como el uso de adecuados respiradores señalados por OSHA, el N95, la responsabilidad con el uso de EPP y continua capacitación sobre los efectos del polvo de carbón en la salud, son mecanismos que pueden ayudar a los mineros a

ser conscientes de las enfermedades a largo plazo y no solo en las que percibe de manera inmediata, la higiene industrial en este sentido, es una disciplina que aporta un valor significativo en la labor minera para la salud pública y los controles adecuados para prevenir enfermedades tan incapacitantes como la neumoconiosis y otras relacionadas con la actividad minera.

La OIT, con el fin de apoyar a las empresas en el mejoramiento de la salud de sus trabajadores propone una guía sencilla para la evaluación de los riesgos como se indica en la tabla 13 (111), la cual es una herramienta de evaluación fundamental que busca realizar una comprensión objetiva de las condiciones de seguridad y salud de los trabajadores.

Tabla 13. Guía para la evaluación de riesgos propuesta por la OIT

Guía de cinco pasos sugerida por la OIT para evaluación de riesgos	
1	Identificar los peligros
2	¿Quién puede sufrir los daños y de qué manera?
3	Evaluar el riesgo: Identificar y decidir las medidas de control de riesgos en materia de seguridad y salud
4	Dejar constancia de quién es responsable de la puesta en marcha de cada medida de control y en qué plazos
5	Registrar los resultados, realizar el seguimiento y revisar la evaluación de riesgos, y actualizarla cuando sea necesario.

Fuente OIT. 2014 (111)

La resolución única como proyecto propuesto por el Ministerio del trabajo en Seguridad y salud expedida el 7 de junio de 2018, indica que los trabajadores expuestos a polvo de carbón deben estar sometidos a un programa de vigilancia epidemiológica, de acuerdo con el nivel de exposición.

7.2.4. Normatividad relacionada con la minería de carbón.

Para el desarrollo del objetivo específico número tres con respecto a la normatividad referida a la minería en Colombia, se estableció una matriz que lista aquellas regulaciones que aportan a la constitución, legalidad, seguridad y salud en el trabajo y condiciones que aseguran un trabajo minero seguro para las personas y el medio ambiente.

La matriz que se observa en la tabla 14 refiere normas alusivas a la minería y que aportan al mejoramiento de la actividad en el sector. En Colombia, actualmente el Ministerio de Trabajo presentó un proyecto con la resolución de junio 7 de 2018, en el cual se pretende compilar normativas sobre la seguridad y salud del trabajo; así mismo, poder derogar otras resoluciones que hacen referencia a los riesgos laborales en diversos contextos.

Hoy en día existen variadas normas y en el caso del sector minero que abarca a pequeñas y artesanales formas de organización laboral, se hace difícil poder comprender y llevar a cabo las labores mineras en las condiciones y exigencias que implican las normativas, de ahí que, las estadísticas de minería ilegal sean altas, lo que tiene gran incidencia en las fatalidades, accidentalidad y enfermedades laborales incapacitantes que se siguen percibiendo en el sector minero, sin que la legislación tome las riendas de un control efectivo, más allá de las incidencias económicas y regalías que brinda el carbón al país. Las

investigaciones de la especialidad en higiene industrial y salud ocupacional de diversas instituciones universitarias que aportan con la implementación de los sistemas de SG-SST, son un recurso importante y de gran valor para este sector principalmente los artesanales para que se dé un acercamiento a las normativas y condiciones seguras de trabajo para los mineros.

Tabla 14. Matriz de normatividad asociada a la minería.

Normatividad	Organismo que lo emite	Descripción	Ubicación
Decreto 4134 del 3 de noviembre de 2011	Ministerio de Minas y Energía	Se crea la Agencia Nacional de Minería (ANM) para administrar los recursos minerales de propiedad del estado y promover el aprovechamiento óptimo y sostenible de los recursos, de acuerdo con la normatividad referente a la minería.	https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/1238/1/upme_231_cadena%20del%20carbon_2012.pdf
Decreto 1886 de 2015	Ministerio de Minas y Energía.	Por el cual se establece el reglamento de seguridad en las labores mineras subterráneas. El reglamento decreta las normas para la prevención de riesgos y los procedimientos para la vigilancia, control y regulación de las condiciones de seguridad y salud en los lugares de trabajo en que se desarrollan estas labores.	https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=65325
Ley 61 de 1979	Congreso de Colombia	por la cual se dictan normas sobre la industria del carbón y se establece un impuesto.	suin-juriscol.gov.co/viewdocument.asp?id=1789528
decreto 2656 de 1988	Congreso de Colombia	Por el cual se crea el fondo de fomento del carbón	http://www.suin-juriscol.gov.co/viewdocument.asp?id=1803738
Ley 685 de 2001	Congreso de Colombia	Por la cual se expide el código de minas y se dictan otras disposiciones.	http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/2001/ley_0685_2001.pdf

Decreto 035 de 1994	Presidencia de la Colombia	Por el cual se dictan unas disposiciones en materia de seguridad minera	https://www.minenergia.gov.co/documentos/10180/581539/pol%c3%8dtica+nacional++de+seguridad+minera/30e8c83d-9709-40fb-9a22-66a799fd841c
Decreto ley 1562 de 2012	Ministerio de salud y protección social	Por el cual se modifica el sistema de riesgos laborales y se dictan otras disposiciones en materia de salud ocupacional.	https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Ley-1562-de-2012.pdf
Decreto número 1443 de 2014	Presidencia de la Colombia	Por el cual se dictan disposiciones para la implementación del sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo (SG-SST).	http://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/36482/decreto_1443_sgsss.pdf/ac41ab70-e369-9990-c6f4-1774e8d9a5fa
Decreto 2222 de 1993	Constitución política de Colombia	Por el cual se expide el reglamento de higiene y seguridad en las labores mineras a cielo abierto.	https://www.anm.gov.co/sites/default/files/decreto_2222_de_1993.pdf
Decreto 1295 de 1994	Ministerio del Trabajo y Seguridad Social	Por el cual se determina la organización y administración del Sistema General de Riesgos Profesionales	http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/decreto_1295_1994.html
Decreto 2535 de 1993	Presidencia de Colombia	Por el cual se expiden normas sobre armas, municiones y explosivos.	https://www.supervigilancia.gov.co/publicaciones/6381/decreto-2535-de-1993---se-expiden-normas-sobre-armas-municiones-y-explosivos/
Decreto 3290 del 2003	Ministerio de Minas y Energía	Por el cual se establecen requisitos y especificaciones de orden técnico - minero para la presentación de planos y mapas aplicados a la minería	https://www.anm.gov.co/sites/default/files/decreto_3290_de_2003.pdf

Decreto 334 del 2002	Presidencia de Colombia	por el cual se establecen normas en materia de explosivos.	http://dcca.cgfm.mil.co/siaem/formularios/reclamo%204-27%20sustancias%20quimicas%20controladas.pdf
Decreto 614 de 1984	Ministerio de Trabajo	Por el cual se determinan las bases para la organización y administración de salud ocupacional en el país.	https://www.bogotajuridica.gov.co/sisjur/normas/normas1.jsp?i=1357
Ley 9 de 1979	Congreso de Colombia	Por la cual se dictan medidas sanitarias, en su título III, fijó los parámetros generales de la Salud Ocupacional en Colombia y, en su artículo 111, obligó la implementación de un Programa de Salud Ocupacional en cada lugar de trabajo.	https://acmineria.com.co/normativa/ley-9-de-1979/
Resolución 0206 del 2013	Agencia Nacional de Minería	Por la cual se deroga la resolución no. 050 del 22 de junio de 2012, se crean algunos grupos internos de trabajo, se asignan sus funciones y se dictan otras disposiciones	https://www.anm.gov.co/?q=content/resoluci%3%b3n-0206-de-2013
Resolución 1016 de 1989	Ministerio de Trabajo y Seguridad Social	Por la cual se reglamenta la organización, funcionamiento y forma de los programas de salud ocupacional que deben desarrollar los patronos o empleadores en el país.	https://www.secretariajuridica.gov.co/nod/e/2264
Resolución 181602 del 28 de noviembre del 2006	Ministerio de Trabajo y Seguridad Social	Por la cual se reglamenta la organización y funcionamiento de los comités de medicina, higiene y seguridad industrial en los lugares de trabajo.	https://www.secretariajuridica.gov.co/nod/e/2265
Resolución 2400 de 1979	Ministerio de Trabajo y Seguridad Social	Por el cual se establecen disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad industrial en los establecimientos de trabajo.	https://www.secretariajuridica.gov.co/nod/e/2266
Resolución número 6398 del 1991	Ministerio de Trabajo y Seguridad Social	Por la cual se establece procedimientos en materia de salud ocupacional	http://www.defensoria.gov.co/public/normograma%202013_html/normas/res_ext_6398_1991.pdf

Ley 1523 de 2012	Congreso de Colombia	por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el sistema nacional de gestión del riesgo de desastres y se dictan otras disposiciones	https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141
Artículo 3 de la Ley 1562 de 2012	Congreso de Colombia	Por la cual se modifica el sistema de riesgos laborales y se dictan otras disposiciones en materia de salud ocupacional.	https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/lists/bibliotecadigital/ride/de/dij/ley-1562-de-2012.pdf
Resolución 1401 de 2007	Ministerio de la Protección Social	Por el cual se reglamenta la investigación de incidentes y accidentes de trabajo.	https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-1401-2007.pdf
Decreto 2090 de 2003	Ministerio de la Protección Social	Por el cual se definen las actividades de alto riesgo para la salud del trabajador y se modifican y señalan las condiciones, requisitos y beneficios del régimen de pensiones de los trabajadores que laboran en dichas actividades.	http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/decreto_2090_2003.html
Guía Técnica Colombiana 45 de 2012	Instituto Colombiana de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)	guía para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional. Muestra los parámetros para la inspección de las condiciones de la mina y con base en esto se desarrolló el diseño del (SG-SST).	https://www.disanejerquito.mil.co/recursos_user//DISAN%20EJERCITO/SALUD%20OCUPACIONAL/SISTEMA%20DE%20GESTION%20SST/NORMATIVIDAD/GTC%2045%202012.pdf
Decreto 1335 de 1987	Ministerio de Minas y Energía.	Por el cual se expide el reglamento de seguridad en las labores subterráneas.	https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/Decretos/D1335_87.pdf

OHSAS 18001	OHSAS	Norma británica reconocida internacionalmente que establece los requisitos para la implementación de un SG-SST en aquellas organizaciones que voluntariamente lo deseen.	http://www.usbcarta.gena.edu.co/phocado wnload/copaso/4.pdf
-------------	-------	---	---

Fuente. Autor basado en diversas normas legales

7.2.5. *Controles a la exposición al polvo de carbón en minas de socavón:*

Por medio del Decreto 873 de 2011, sobre los servicios de salud en el trabajo, es importante contar con bienes especializados en prevención y encargados de los empleados quienes desarrollan esta labor. Con la finalidad de dar respuesta al objetivo específico número cuatro, se compila en esta sección la información asociada a los controles normativos que rigen para el polvo de carbón, que como se manifestó es un factor de riesgo para la seguridad y salud en la labor minera.

El Ministerio de Minas y Energía, MinMinas, elaboro en 2016 un manual de seguridad en las labores de minería subterránea basado en el decreto 1886 del 21 de septiembre de 2015, una herramienta fundamental que permite el entendimiento de la norma para la implementación de acciones de seguridad y salud de los mineros y en él se establecen controles al polvo de carbón en las labores mineras subterráneas, además, implica temas más recientes relacionados con la seguridad minera y seguridad y salud en el trabajo que deben aplicar los titulares de derechos mineros, explotadores y empleadores mineros para el desarrollo de las actividades mineras.

Los controles a la exposición al polvo de carbón referidos en la normatividad y estudios de minería de socavón explorados en esta investigación refieren los siguientes puntos a tener en cuenta:

. **Control en la Fuente:** Este sistema de control es necesario tener énfasis en la ventilación en minas de socavón ya que consiste en el proceso de hacer pasar un flujo de aire considerable y necesario para crear las condiciones óptimas para que los trabajadores se encuentren en una atmósfera agradable, limpia y sin gases (113).

Necesidad de la ventilación: Es necesario establecer una circulación de aire dentro de una mina subterránea por las siguientes razones:

- Se debe asegurar un contenido mínimo de oxígeno en la atmósfera de la mina para permitir la respiración de las personas que trabajan en su interior.
- Se requiere diluir los gases, los cuales pueden ser tóxicos, asfixiantes y/o explosivos por debajo de los valores límites permisibles legales establecidos en el país.
- Se hace necesario ventilar la mina para climatizarla, a medida que aumenta la profundidad de la misma, la temperatura aumenta, adicionalmente, los equipos y máquinas presentes en el interior contribuyen a elevar la temperatura del aire.
- Se requiere que los frentes de trabajo tengan un confort térmico, que permita que el trabajador labore en condiciones óptimas de rendimiento y seguridad.

Estos medios de ventilación mecánico tienen como objetivo dar un flujo de energía un volumen de aire determinado, para ello se establece diferentes métodos de ventilación en una mina de socavón:

Sistema aspirante: El aire fresco ingresa al frente por la galería y el contaminado es extraído por la ductería. Para ventilar desarrollos de túneles desde la superficie, es el sistema aspirante el preferido para su ventilación, aun cuando se requieran elementos auxiliares para remover el aire de la zona muerta, comprendida entre el frente y el extremo del ducto de aspiración.

Sistema combinado: Aspirante-impelente, emplea dos tendidos de ductería, uno para extraer aire y el segundo para impulsar aire limpio al frente en avance. Este sistema reúne las ventajas de los dos tipos básicos, en cuanto a mantener la galería y el frente en desarrollo con una renovación constante de aire limpio y en la velocidad de la extracción de los gases de disparos, con la desventaja de su mayor costo de instalación y mantenimiento.

Para Cavidades de mayor sección (mayor a 12 m²) y con una longitud sobre los 400 metros: El uso de un sistema aspirante o combinado es más recomendable para mantener las Cavidades limpias y con buena visibilidad para el tráfico de vehículos, sobre todo si éste es equipo diésel. Hoy día, es la ventilación impelente la que más se usa, ya que el ducto es una manga totalmente flexible, fácil de trasladar, colocar y sacar. En este caso, el ventilador al soplar infla la manga y mueve el aire. En el caso de la ventilación aspirante, estas mangas deben tener un anillado en espiral rígido lo que las hace muy caras (114).

Figura 15. Mangas de ventilación en una mina de socavón.



Fuente. Ziebttec Mining and Process (115)

Este sistema de ventilación tiene que ser muy importante para los trabajadores en la mina de socavón ya que los sumos de gases como el monóxido de carbón, gas carbónico, metano, gases nitrosos y anhídrido sulfuroso entre otros; representan peligro por su propia nocividad por la disminución de oxígeno que ocasionan, es por eso se utilizan mangas de gran longitud para proporcionar oxígeno a los trabajadores y para la seguridad de la operación.

La ventilación no sobra decir que tiene que ser permanente ya que el suministro de aire que se proporciona en una mina de socavón ayuda a los trabajadores tener una atmosfera satisfactoria para realizar su labor. A continuación, veremos los siguientes equipos de medición para los diferentes datos de ventilación:

Tabla 15. Equipos de medición y su descripción para los diferentes datos de ventilación

Descripción	Figura
<p><i>Testo 435- Higrotermoanemometro digital con sonda de velocidad.</i></p> <p>Este equipo mide la velocidad del aire, temperatura, caudal volumétrico y humedad, ayuda la medición con promedio temporal y puntual.</p>	
<p><i>Anemómetro Dwyer:</i></p> <p>Mide temperatura y velocidad del aire.</p>	
<p><i>Manómetro Dwyer:</i></p> <p>Mide presiones positivas, negativas y diferenciales de aire.</p>	

Fuente: Drager

Control en el Medio: Es muy importante la calibración de los equipos que emitan alarmas sonoras cuando el contenido de los gases tome lecturas que excedan los límites permisibles, es importante tener en cuenta:

1. Es necesario evitar las acumulaciones de polvo, eliminar el polvo de carbón presente en los puntos de transferencia de carbón en la mina y lavar los techos, cálices y paredes.
2. Instalar rociadores de agua y sistemas de ventilación conforme al plan establecido por la ley, realizando el mantenimiento preventivo y correctivo para el buen funcionamiento, con el fin de mantener húmedos los frentes de arranque y los puntos de cargue y descargue de carbón.
3. Mantener el nivel de presión del agua de acuerdo con las especificaciones en la ficha técnica de los dispersores de agua.
4. Realizar los controles de muestreo de polvo de carbón y verificar e inspeccionar los valores permisibles de gases y oxigenación en los lugares de trabajo conforme los tiempos y especificaciones que indica el plan establecido en la mina.
5. Capacitar al personal en el manejo adecuado de los EPP, respecto al polvo de carbón, la utilización correcta del respirador N95 certificado para las labores mineras.
6. Capacitar y entrenar al personal en la utilización, toma de muestras y mantenimiento de equipos de muestreo de polvo de carbón, detección de gases; entre otros, considerando la responsabilidad de tener registros confiables que permitan realizar ajustes para la seguridad y salud en el trabajo.

7. Como menciona el decreto 1886 de 2015, se pueden establecer barreras de polvo o agua: que los define como *“depósito de polvo inerte o agua, que se ubica en forma inestable en el techo, o en la parte lateral de una vía subterránea en sitios estratégicos. Tiene como objeto formar una nube incombustible en el momento de ser alcanzado por un golpe producido por la onda durante la explosión de grisú o polvo de carbón contribuyendo a frenar la propagación de ésta”* p.7, estas barreras ayudan a neutralizar los depósitos de polvo de carbón que se formen sobre los pisos, paredes y techos de las galerías principales de ventilación y transporte, con elementos tales como agua o polvo inerte de caliza.

8. Es indispensable comprobar que toda acción que se realice en la mina, tenga ventilación constante y suficiente, de manera que se distribuya el aire con los valores permisibles y se perciba una atmósfera limpia y respirable.

9. Deben establecerse estaciones de seguridad y salvamento minero.

10. Evitar tener condiciones que puedan generar explosiones como: presencia de polvo de carbón en un tamaño de partículas de 0,5 mm, una atmosfera de oxígeno suficiente para que se produzca explosión, fuente de energía que lleve a la ignición, el valor límite inferior de explosividad que es la concentración mínima de polvo para que se produzca explosión y sus valores varían de 10 a 500 g/m³

11. Recordar que el paso en el cual se realiza la voladura no debe llevarse a cabo si la concentración de metano es mayor o igual al 0,5% en volumen, adicionalmente, las habilidades y competencias en el manejo de explosivos es certificada por el SENA y la Escuela Militar.

La prevención en el medio son consideraciones técnicas para la eliminación del peligro y riesgo al trabajador, gracias a los equipos de ventilación se debe tener en cuenta los termómetros, un auto rescatador lo cual funciona como filtro de gases producidos por incendios, por medio de un elemento químico especial que actúa como catalizador, transformando el CO en aire respirable por un máximo de una hora, hay que recordar que el autorrescatador debe ser utilizado solo cuando sea estrictamente necesario, más no para desarrollar actividades laborales. Estos equipos tienen una fecha de caducidad a partir de la fecha de creación, de acuerdo a las especificaciones del fabricante el equipo trabaja a ciertas condiciones de temperatura entre los -5°C a 50°C . (116).

Se debe tener en cuenta las siguientes reglas para una ventilación eficaz en una mina de socavón:

- Disponer de una persona responsable de la ventilación de la Mina • Llevar los registros y cálculos de las variables que afectan las condiciones del aire. (Presiones estáticas y dinámicas, abertura equivalente, cálculo de flujos que pasan por el ventilador, velocidad, caudales).
- Tomar muestras de aire para análisis, búsqueda de grisú, control de medidas contra incendio e higiene del personal en todos los sitios de la Mina para evitar que se produzcan basureros en la mina.
- Tener protocolos sobre (Cálculo del sistema de ventilación de la mina, estándares de calibración de equipos. Qué hacer en caso de incendio, normas de barreras de ventilación, normas sobre toma de muestras de aire, etc.).

- Publicar en carteleras y varios sitios de la mina los registros de las lecturas de gases •
- Disponer de un reglamento de ventilación para la labor subterránea. (117).

De otro lado, **OHSAS** (51), quien establece especificaciones y normas para la seguridad y salud en el trabajo, y corrobora su apoyo a la mejora continua en las prácticas laborales, señala que es necesario establecer la identificación de los riesgos y peligros existentes en los lugares de trabajo y asegurar resultados favorables correspondientes a los controles definidos; así, para eliminar y controlar los peligros en los contextos mineros, se deben planificar acciones bajo parámetros de una jerarquía de control operacional ordenada para responder ante situaciones de emergencia, como sigue a continuación:

- Eliminar el peligro: refiere el hecho de evitar riesgos, la causa del peligro debe ser eliminada por completo, en esta etapa la causa raíz del peligro debe ser excluida, no puede mantenerse una actividad peligrosa en los trabajos mineros. Un cambio en el diseño que se adapte a las condiciones de trabajo de los mineros sin ponerlos en riesgo, por ejemplo, evitando que los vehículos tengan la misma vía de circulación de los mineros en los frentes de trabajo, se sugiere realizar acciones como la eliminación de sustancias químicas peligrosas que afectan la salud de los trabajadores, la eliminación de cualquier situación, práctica y/o elemento que sea identificada como peligrosa en las labores, otro ejemplo puede ser, eliminar los vehículos con defectos irreparables en un área donde los gases en los frentes de trabajo ponen en peligro de explosión el área de trabajo. Con respecto al polvo de carbón, se ha mencionado en este documento, las sugerencias sobre el trabajo en húmedo y no en seco para minimizar la acumulación y esparción del polvo de carbón en los

procesos de producción, realizando aspersiones de agua, aplicación de cal y ventilación adecuada permanente.

- Sustitución del peligro: acciones que permitan controlar el peligro y establecer alternativas más seguras que lleven a realizar reemplazos efectivos menos peligrosos, la sugerencia se basa en el cambio de lo que puede generar peligro y reemplazarlo por lo menos peligroso en las labores que se realizan como; por ejemplo, utilizar herramientas tecnológicas que sustituyan el trabajo manual de remoción del carbón por mecanizadas.

- Separación / aislamiento: Los trabajadores deben permanecer lejos del peligro, por tanto, se deben establecer barreras, distancias en tiempo y espacios para hacer que actividades que resultan riesgosas estén lo más aisladas posible de las personas, por ejemplo, el uso de maquinaria que se pueda operar con mandos a distancia, el tiempo de 30 minutos de permanencia normativo lejos de la fuente de trabajo luego de realizar procedimientos con explosivos.

De acuerdo con el decreto 1335 de 1987 el manejo de explosivos debe hacerlo una persona debidamente capacitada para tal fin, cuya formación profesional debe actualizarse continuamente. Estos explosivos suelen ser muy sensibles a estas profundidades, generalmente la detonación de una pequeña carga de explosivos puede ser de alta potencia, estos explosivos pueden estar ubicados a un detonador, un cordón detonante o según el procedimiento que se utilice para la iniciación.

Los explosivos industriales son los mas utilizados para la fragmentación de roca ya que genera alta efectividad en la voladura, la colocación de los explosivos para la voladura suele ser por barrenos (agujeros de un diámetro determinado) como se observa a continuación:

Figura 16. Alistamiento de explosivos en una mina de socavón.



Fuente: Peroración y voladuras de rocas.

Para estos procedimientos se debe tener a la mano un explosímetro lo cual nos permite detectar la presencia y la concentración de un gas o un vapor combustible en una composición de gases, pero no se pueden distinguir las diferentes sustancias presentes, para realizar trabajos en sitios donde exista la probabilidad de la presencia de gases o atmósferas explosivas, se debe solicitar la expedición de un permiso de trabajo, que tiene por objeto inspeccionar primero el sitio con un explosímetro para verificar la ausencia de gases explosivos y poder hacer el trabajo de manera segura.

- **Controles de ingeniería:** Se establece como acción la reorganización del trabajo, de manera que, se puedan permitir a los mineros realizar sus actividades de manera segura, implementar medidas de protección colectiva, establecer controles de reducción de ruido, brindar máquinas y herramientas adaptadas a las necesidades del trabajo sin que sean consecuencia de daño a la salud, mantener sistemas de ventilación permanente y vigiladas

para su eficiencia, mejorar la infraestructura de circulación adecuando barandas de sujeción que eviten las caídas en zonas con alta inclinación que son comunes en la minería subterránea. entre otras. Estas mejoras de tipo tecnológico son muy importantes para los trabajadores ya que protege y cuida la vida de ellos, antes de de una explosión dentro de la mina de socavón el supervisor de turno debe realizar una verificación de gases dentro de la mina para evitar un riesgo inminente, esta verificación se realiza con un explosímetro lo cual detecta la presencia de gases y en q nivel se encuentra y así tomar las medidas pertinentes.

Figura 17. Explosímetro.



Fuente: Drager.

- **Controles administrativos:** Un factor predominante y relativo en este paso está relacionado con la formación y establecimiento de competencias que promueva buenas prácticas y el autocuidado, el seguimiento en la implementación de los manuales y normas de seguridad que son protocolo de las acciones mineras, asegurar que los mineros cuentan

con espacios de descanso para minimizar los tiempos de exposición, realizar rotación de los trabajadores en sus turnos y en las actividades y/o tareas; otro se considera la inspección a los equipos, maquinaria, señalización y elementos de seguridad, el desarrollo y cuidado del recurso humano y sus sistemas de protección deben ser prioridad en este paso.

Control en el trabajador: Elementos de Protección Personal (EPP) los cuales son responsabilidad mutua entre el empleador y el empleado, el primero realizando un suministro de calidad y en los tiempos establecidos y el segundo en comprender la importancia del cuidado y buen uso de los elementos de trabajo que favorecer la seguridad y el cuidado de la salud. Ahora bien, este paso se consolida positivamente en la medida en que los controles anteriores sean satisfactorios. En el caso del control al polvo de carbón, es importante aclarar que no cualquier protector de respiración es útil para la labor minera, el adecuado es personal y por ningún motivo compartido, se debe capacitar en su uso, mantenimiento, cuidado y almacenamiento. Los (RSL) Lógica de selección de respirador se basan principalmente en los aspectos físicos, químicos y propiedades toxicológicas del contaminante sobre las limitaciones de cada clase respiratoria.

Después de que se identifique varias clases de respiradores como adecuados para una situación dada, se realiza una evaluación de otros factores del entorno de trabajo particular (por ejemplo, trabajo, tarea, temperatura, movilidad, etc.). (118).

NIOSH recomienda que cuando el empleador o un representante del empleador realiza pruebas de vida útil, las concentraciones de desafío de los gases y los vapores deben ser al

menos la concentración máxima de uso (MUC) del respirador y que se aplique un margen de seguridad al evaluar los datos de vida útil.

Se debe tener en cuenta las restricciones de los respiradores y requisitos como los son:

1. Las pruebas de ajuste cualitativas o cuantitativas deben proporcionarse según corresponda para garantizar que el respirador de careta ajustada se adapta al individuo.
2. Las limitaciones de uso de los elementos purificadores de aire.
3. Los respiradores deben estar certificados por el NIOSH.
4. Se debe desarrollar un programa completo de protección respiratoria por escrito que incluye capacitación regular de trabajadores; mantenimiento, inspección, limpieza y evaluación del respirador uso del respirador de acuerdo con las instrucciones del fabricante; prueba de ajuste; evaluación médica; y monitoreo ambiental.

Como ya mencionamos anterior mente esta actividad conlleva a diferentes enfermedades como la Neumoconiosis y también la silicoantracosis es un tipo de neumoconiosis es provocada por fibrosis pulmonar que toma el nombre por la inhalación del polvo de carbón. Dentro de las neumoconiosis que más interés han generado están la silicosis, la neumoconiosis del minero de carbón y la asbestosis, entidades que constituyen un problema importante en los países del tercer mundo donde se requiere mejorar las estrategias sobre su prevención, reconocimiento y manejo.

Para la realización de estos controles o monitoreo preventivo es indispensable realizar chequeos médicos, se recomienda realizar una evaluación al primer año de exposición, ya que la silicosis aguda y la tuberculosis pueden desarrollarse en un corto período de tiempo. A partir del segundo año y hasta el décimo de exposición debe hacerse un seguimiento

periódico cada tres años y después del décimo año, se hará cada dos años. El contenido y los criterios de estos seguimientos deberán ser similares a los de la evaluación inicial. (121).

Comunicación del Riesgo:

Un control de riesgo es todo factor aquello de la actividad laboral que puedan contribuir a producir daño en la salud de cualquier trabajador. Solamente el conocimiento de los riesgos a los que se está expuesto durante la actividad laboral permite establecer medidas de protección para evitar sus efectos dañinos, evitando así las condiciones inseguras del trabajo, por ellos todos debemos fomentar su conocimiento exhaustivo.

A quien se debe comunicar: (119)

- AI SUPERIOR JERÁRQUICO DIRECTO, para que este adopte medidas correctoras, de inmediato, si son necesarias.
- AL SERVICIO DE PREVENCIÓN para que promueva una investigación completa de la situación.

Una comunicación de riesgo debe describir con la mayor precisión posible el riesgo detectado, tanto su naturaleza y consecuencias dañinas, como su ubicación. Si es posible, se deben aportar soluciones para evitarlo o controlarlo.

También se debe tener en cuenta la señalización que sea visible, clara para los trabajadores y asequible en cualquier momento.

De acuerdo con OSHA (52) se debe establecer en los contextos mineros un programa de protección respiratoria y pruebas de ajuste anuales, lo cual está sugerido en OSHA 29 CFR 1910.134. La Revista de Seguridad Minera (53) indica que es necesario contar con respiradores certificados que garanticen el nivel de protección, los cuales se seleccionan de acuerdo con las tareas, exposición y niveles de riesgo de los mineros; adicionalmente, se requiere de evaluaciones de los trabajadores para adaptar el buen uso y ajuste apropiado en los frentes de trabajo. OSHAS (54), refiere dos tipos de respiradores; los purificadores de aire, los cuales en la minería elimina los contaminantes del aire por la disposición de filtros o cartuchos; de otro lado, están los respiradores con provisión de aire, estos proporcionan aire limpio de una fuente que está libre de contaminantes. NIOSH (55) es la entidad que brindan la certificación de los respiradores más adecuados para la protección y seguridad de la salud, el respirador N95 certificado y aprobado por el NIOSH, indica que el respirador filtra al menos el 95% de las partículas que se encuentran en el aire y protege contra el polvo de carbón.

Cuando una empresa se preocupa por el establecimiento de un sistema de evaluación de los peligros en los sitios de trabajo y adicionalmente, fortalece y promueve la gestión para que se lleve a cabo la jerarquía de controles, es una empresa que tendrá beneficios positivos porque incrementa la seguridad y salud de quienes generan la productividad, eliminando los peligros y controlando los riesgos, es entendible que, para lograr establecer la jerarquía de controles, se necesita inversión de capital y tiempo; sin embargo, con seguridad los aportes al crecimiento del negocio serán positivos, así como, un lugar seguro para trabajar.

8. DISCUSIÓN

De acuerdo con el desarrollo de los objetivos planteados y la presentación de los resultados, se discute a la luz de otros estudios esta investigación para dar cuenta de las similitudes, vacíos y nuevos hallazgos que contemplan investigaciones a futuro.

En relación a la revisión sistemática de este estudio que contempla el objetivo principal de investigación para el estado del arte, se encontró estudios e información relevantes para responder a cada uno de los objetivos planteados.

Teniendo en cuenta el protocolo para revisiones sistemáticas de la exposición y efectos laborales a polvos realizadas por la Organización Internacional del Trabajo y la Organización Mundial de la Salud (112), se encontró similitudes referentes a las fuentes de búsqueda académicas electrónicas, registros potencialmente relevantes de estudios publicados, bases de datos electrónicas de literatura gris, motores de búsqueda en Internet y sitios web de organizaciones especializadas en la seguridad y salud en la minería.

Con respecto a la búsqueda, las diferencias se detectaron en explorar bases de datos como Ovid Medline, EMBASE, PubMed, HSELINE, Web of Science y CISDOC; las cuales en este estudio no se indagaron por su especificidad médica en Neumoconiosis, tema que se encontró ampliamente en otras bases de datos consultadas en este estudio como fueron SciELO, Redalyc y Dialnet.

De otro lado, la búsqueda de información realizada por la OIT/OMS, involucró la consulta a expertos, lo cual no se tuvo en cuenta en este estudio.

Los criterios de inclusión e inclusión referidos en la metodología presentada por la OIT/OMS, refieren estudios con una amplitud extensa, debido a la exploración de la

neumoconiosis que está relacionada con el polvo de carbón, que como bien se mencionó en el desarrollo de esta investigación requiere de más de diez años de exposición, para el caso del estudio aquí presentado, se centró en los controles al polvo de carbón, de ahí que solo se exploraron estudios recientes desde 2010, comparado con los presentados en la revisión sistemática de la OIT/OMS quienes exploraron estudios desde 1974 a 2018. En este estudio se limitó al idioma español - inglés y no a cualquier idioma, así como tampoco se tuvo en cuenta la edad de los trabajadores para la selectividad de los estudios explorados.

Con respecto a las páginas web especializadas y gubernamentales, se encontraron similitudes; sin embargo, no se exploraron la Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo, EUROSTAT, Infraestructura Nacional de Conocimiento de China y el Instituto Finlandés de Salud Ocupacional.

Para el caso de este estado del arte se involucraron tanto estudios cuantitativos como cualitativos, lo cual no sucedió en la metodología empleada por la OIT/OMS, quienes excluyeron todo estudio cualitativo, modelado o caso de estudio.

Con respecto a la selectividad de los estudios encontrados en las fuentes de búsqueda, se observó similitudes en la metodología que expone los pasos de selección, los cuales en el estudio de la OIT/OMS y el presentado en este documento fueron:

1. Los documentos de estudio identificados en la búsqueda se descargaron.
2. Se identificaron los documentos duplicados y se eliminaron.
3. Se realizó la lectura de título y resumen para identificar aquellos documentos potenciales y relevantes para el estudio.

4. los documentos seleccionados fueron leídos en su totalidad para determinar aquellos que aportaban a las necesidades del estudio.

5. Se utilizó software como RevMan 5.3 y DistillerSR y se hizo uso de diferentes investigadores que dieran su concepto de elegibilidad objetiva y libre de sesgos, para lo cual utilizaron una guía de navegación y evaluación de sesgo. En este punto se encuentra una diferencia con respecto al uso de tecnología que permitiera una selectividad más detallada y especializada, para el caso de este estado de arte se usó Excel como herramienta de selectividad.

6. Los documentos seleccionados fueron desglosados por país, sexo, edad, sector industrial u ocupacional, autores, año de publicación, participantes, exposición, factores de riesgo, resultados y diseño de estudio (tipo).

Los estudios indagados para el desarrollo del objetivo específico número uno, que tenía como finalidad contextualizar el proceso del trabajo y perfil ocupacional de los trabajadores en minas de carbón de socavón, mostraron resultados similares entre ellos, determinando que el proceso minero en socavón requiere de avances tecnológicos para poder llevar a cabo labores que minimicen los factores de riesgo, actualmente en la labor minera clasificada como riesgo V, se desarrollan actividades incipientes y sin mecanización, llevando a los trabajadores a labores manuales; principalmente, en minas que realizan sus actividades en la ilegalidad (62), estas acciones conllevan a resultados presentados en estudios que demuestran a las lesiones osteomusculares con un porcentaje de enfermedad del 54% (30, 110). Con respecto a los procesos de extracción de carbón en Colombia los

estudios indagados (78,79,80) no presentan diferencias, debido a que describen sus pasos de manera similar, especificando el tipo de extracción como se indicó en el guion 7.2.1.4.

En cuanto al perfil ocupacional, la actividad requiere de mayor atención en las condiciones de trabajo, las cuales se describen en los estudios como precarias, sobre todo cuando las estadísticas demuestran un porcentaje de ilegalidad en Colombia del 66% (62), lo cual contribuye a dicha precariedad, llevando a los mineros a poner en riesgo su seguridad y salud, pagos a destajo, horas de trabajo extensas, trabajo infantil, entre otras dificultades, que pueden avanzar si no se establecen las regulaciones gubernamentales nacionales e internacionales que contribuyan para mitigar los factores de riesgos a la exposición al polvo de carbón en los trabajadores de la minería subterránea, a través del seguimiento y control con auditorías efectivas y exigentes que garanticen la implementación de dichas regulaciones; hoy en día, las cifras de fatalidades, accidentalidad, y enfermedades respiratorias como la neumoconiosis siguen siendo alarmantes en el sector minero. Igualmente, la ausencia de guías técnicas específicas para cada una de las diferentes actividades que implican la minería de socavón se convierte en una necesidad para el sector de la minería en Colombia que son fundamentales para proteger, prevenir y controlar los factores de riesgo.

Los hallazgos de estudios seleccionados para determinar los factores de riesgo asociados a la exposición al polvo de carbón en minas de socavón que se estableció en el segundo objetivo de este estudio, coinciden en determinar que la neumoconiosis es uno de los principales efectos de la sobreexposición al polvo de carbón; así mismo, los estudios

comparados (5, 6, 7, 13, 14, 21, 22, 31, 35) revelaron que se evidencia la enfermedad cuando se presenta una sobreexposición de 10 a 15 años de labores mineras.

Las investigaciones realizadas en tesis por estudiantes de diversas universidades en la disciplina de salud ocupacional e higiene industrial respecto a la implementación de SG-SST a pequeñas y medianas empresas que aún realizan labores de manera artesanal, es un valor agregado que fomenta la responsabilidad y el compromiso con la salud de los trabajadores; sin embargo, dichos trabajos parecen quedar en el papel, sin llevarse a cabo un seguimiento continuo y compromiso por parte de los titulares, empleadores o quienes realizan la explotación minera. Mantener los controles requeridos que exige el sistema requiere un compromiso conjunto, donde el gobierno más allá de las regalías y estadísticas económicas, se preocupe por la prevención y seguimiento a las enfermedades que se perciben a largo plazo, como es el caso de la que desencadena la sobreexposición al polvo de carbón, la enfermedad del pulmón negro, la neumoconiosis; así como, de aquellas que son percibidas a mediano plazo como las osteomusculares, entre otras.

De acuerdo con la investigación de estudios que respondieran al objetivo número tres de esta investigación, concerniente a la especificación de normatividad vigente en materia de seguridad y salud e higiene industrial en la minería de socavón, se pudo evidenciar que en Colombia existen vacíos referentes a guías técnicas específicas para las condiciones laborales mineras; tales como, la ventilación, los Elementos de Protección Personal, instalaciones eléctricas, manejo de explosivos, estructuras de sostenimiento; entre otras, que si bien se exponen en los capítulos del decreto 1886 de 2015, se quedan cortos para ser

referenciados en pequeños capítulos que merecen una guía técnica más amplia, detallada y con mayores estudios que revelen la realidad de la labor minera de socavón en Colombia respecto a los riesgos que se visualizan.

Los organismos internacionales refieren información normativa y actualizada frente a las estadísticas de enfermedad, lo cual es un referente que permite estar alerta a las condiciones de seguridad que se exigen y hacer conciencia sobre la situación del sector, lo cual es un buen indicador para tratar de prevenir el aumento de la enfermedad laboral; sin embargo, el seguimiento para determinar la aplicabilidad en la realidad es muy deficiente; los controles, la legalidad, la prevención y la responsabilidad que conlleva la actividad minera está lejos del cumplimiento al 100%; por tanto, el factor educacional y de auditoría juegan un papel predominante a cualquier nivel de minería en Colombia, incluso a las grandes mineras con capacidad financiera que representan la explotación de carbón de socavón como son: Milpa y Carbocoque.

El **MinMinas** y **ANM**, son entidades que junto con las **ARL** han tratado de desarrollar guías y manuales accesibles y comprensibles para el sector minero, teniendo en cuenta las regulaciones actuales, las cuales son recientes y han tenido constantes cambios, con el fin de poder adecuar los reglamentos de la minería subterránea al lenguaje minero y favorecer en las actividades referentes a la seguridad y salud del sector.

El decreto 1886 de 2015 al establecer la obligación de refugios dentro de las minas, requiere de un estudio con mayor detenimiento que les permita entender la realidad de estructuras mineras pequeñas que no cuentan con espacios para la construcción de estos refugios y que podrían contar con puntos de encuentro para la atención de sucesos.

Con respecto al cuarto objetivo que pretendía identificar los controles a la exposición de trabajadores al polvo de carbón en las minas de socavón, la información contenida en los artículos científicos indagados, refieren sobre el historial de exposición de los trabajadores y sus condiciones de vida, sin embargo, los estudios revelan lo ya conocido, como es la sobreexposición de 13 a 20 años al polvo de carbón que desencadena enfermedades respiratorias, encontrándose que son escasos los estudios en los controles o jerarquía de controles que deben llevarse para evitar este riesgo, la razón podría estar en lo reciente de la información manifestada de la jerarquía de controles, para lo cual es necesario extender las investigaciones para establecer no solo recomendaciones frente a la evaluación de riesgos, sino también, evaluar la implementación y llevar a cabo la jerarquía de controles en los trabajos de la minería de socavón.

9. CONCLUSIONES

De acuerdo con los estudios indagados para el desarrollo del estado del arte y la búsqueda de bibliografía se pudo determinar que los Organismos Internacionales especializados en Salud Ocupacional e Higiene Industrial refieren contenidos e información precisa para la minería de carbón, normatividad, peligros y factores de riesgo asociados y controles a la exposición al polvo de carbón; sin embargo, no especifican el proceso de trabajo minero y el perfil ocupacional de los trabajadores, para especificar esta información se recurrió a trabajos de tesis de la especialización en Salud ocupacional e Higiene Industrial. Para la búsqueda de información específica a los controles al polvo de carbón se encuentra mayor información en la normatividad técnica y regulación del gobierno colombiano; sin embargo, hace falta investigar con mayor atención lo referente al control al polvo de carbón en la minería subterránea.

El proceso de carbón en minería de socavón en Colombia en su mayoría es incipiente, con baja mecanización, que lleva a realizar labores manuales afectando la salud de los trabajadores, la precariedad del sector minero se percibe con mayor frecuencia en la informalidad de la actividad minera, fomentando la ilegalidad y; por tanto, se convierte en un factor de riesgo para la seguridad y salud de las personas y el contexto en el que se desarrolla la minería.

Desde la perspectiva del perfil ocupacional de los trabajadores es importante promover la asociación de los mineros para que se logre establecer junto con las entidades gubernamentales correspondientes a los contextos geográficos mineros, una minería responsable y legal que contribuya a mejores condiciones laborales, referentes a la

contratación, salarios, el acceso a seguridad social, capacitación continua y actualizada de la normatividad y buenas prácticas de trabajo que garanticen la seguridad y salud en el trabajo.

Los estudios se centran en los efectos que causa el polvo de carbón respirable y que es el principal responsable del deterioro de la función pulmonar en los mineros, tales como, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), la enfermedad pulmonar restrictiva y la neumoconiosis, denominada en el sector minero como la enfermedad del pulmón negro, la cual ocasiona discapacidad permanente, baja calidad de vida y hasta la muerte.

Los estudios demuestran que la enfermedad del pulmón negro no tiene una cura; sin embargo, con los controles y medidas preventivas se pueden mitigar los riesgos; es necesario establecer exigencia en las regulaciones y las auditorias para el debido cumplimiento, educación y conciencia sobre las enfermedades a largo plazo que puede ocasionar la sobreexposición al polvo de carbón, asumiendo una responsabilidad conjunta. No existe suficiente información referente al manejo en operación de la toma de muestras, equipos de muestreo, participación de los mineros en la inspección de vigilancia y control de los polvos de carbón en las minas de socavón, Se hace necesario tener en cuenta medidas de prevención, por tanto, la instalación de barreras de agua y la inertización del polvo de carbón mediante riego o mediante polvo inerte son una acción eficaz para detener las explosiones en las galerías de la minería de socavón.

Las investigaciones y normatividad vigente referidas al polvo de carbón en minas de socavón señalan mínima información con respecto a la jerarquía de controles; sin embargo, mencionan barreras y acciones que ejercen un control al polvo de carbón, como lo son

mantener operaciones mineras en húmedo y nunca en seco, eliminar los depósitos de polvo barriendo y limpiando los frentes de trabajo, humedecer los frentes de arranque y puntos de cargue, se deben neutralizar los depósitos de polvo de carbón que se formen en paredes, pisos y techos, formando barreras de polvo inerte de caliza o neutralizando con recipientes con agua.

Actualmente existen vacíos en la normatividad referente a establecer guías técnicas específicas para cada labor minera que son un riesgo inminente en la minería de socavón, es claro que el decreto 1886 de 2015 expone por capítulos las actividades, sin embargo, la información es muy parcial y en temas de ventilación, estructura de sostenimiento, instalaciones eléctricas, Elementos de Protección Personal; especialmente respiratoria y muchos otros, por ser este sector catalogado en un riesgo V, requieren de una guía técnica especializada que se centre en la minería de carbón de socavón.

Según el decreto 1886 de 2015 en su artículo 58 mencionan las categorías de minas I y II para las cuales es importante establecer una guía técnica en instalaciones eléctricas para labores mineras subterráneas de carbón.

10. RECOMENDACIONES

A partir de esta revisión sistemática se perciben algunas recomendaciones que pueden contribuir a mejorar el sector minero de socavón respecto a su contexto actual y favorecer la seguridad y salud en el trabajo, teniendo en cuenta la realidad actual en Colombia.

Entidades gubernamentales y organismos internacionales

Los cuales regulan el sector minero deben realizar una comprensión más detallada del contexto cultural, educativo e intereses que conllevan la labor minera para poder estimar con mayor detenimiento no solo las regalías y comportamiento de la economía en el sector; sino también, proveer de herramientas más accesibles y comprensibles frente a las regulaciones y la concientización de las enfermedades que la minería trae como consecuencia.

Sector Minero de socavón

La participación de los operadores mineros en el control, seguimiento y vigilancia con respecto al polvo de carbón es una propuesta de investigación que podría revelar datos más cercanos a la realidad con respecto al manejo, tecnología y planes referidos al control al polvo de carbón en las minas de socavón.

Es indispensable en las minas de carbón disponer de equipos y recursos tecnológicos para que operadores mineros capacitados puedan tener dominio de las auditorías relativas al monitoreo y control del polvo respirable y proveerlos del conocimiento necesario para llevar a cabo acciones correctivas que puedan visualizarse en los frentes de trabajo.

Universidad El Bosque

Los estudios de investigación universitaria de las disciplinas en salud ocupacional e higiene industrial requieren de una exploración más allá de la evaluación de riesgos e implementación de un SG-SST, debido a que, la información encontrada no revela suficientes datos con respecto a la jerarquía de controles al polvo de carbón en minas de socavón o un seguimiento posterior a la implementación de estudios y propuestas de establecimiento de SG-SST.

Se requieren estudios que permitan dar cuenta del involucramiento de los operadores en entrenamientos técnicos con respecto a la apropiada toma de muestras de polvo de carbón respirable en los lugares y momentos de producción adecuados, para poder mantener registros confiables en los diferentes turnos de trabajo y si se llevan conforme al plan de ventilación establecido.

Profesionales en Seguridad y Salud en el Trabajo:

Implementación de las buenas practicas que permiten tener un control a la exposición al polvo de carbón en minas de socavón y una vigilancia a los posibles padecimientos que se desarrollen en la labor dada.

Establecer unas medidas de control y técnicas de aspectos de vigilancia a nivel de desarrollo de la labor antes, durante y posterior del trabajo para comprender criterios de vigilancia en los trabajadores.

11. FUTURAS PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

A partir del desarrollo del estado del arte y los resultados presentados surgen nuevas preguntas que podrían servir de fuente de exploración para la línea de investigación salud, ser humano y trabajo o investigadores interesados en el tema de la minería de socavón.

1. ¿Las condiciones de seguridad y salud en el trabajo de una minería de cielo abierto de carbón son estrictamente iguales a las que se presentan en la minería subterránea de carbón?
2. ¿Es necesario establecer normatividad específica para la minería de carbón?
3. ¿Podrían mejorar las condiciones de legalidad minera si se establecen cartillas o manuales guía con un lenguaje minero que genere mayor entendimiento de la constitución de una mina de carbón?
4. ¿Cada capítulo que refiere el decreto 1886 de 2015 podría separarse en guías normativas específicas para la minería subterránea referentes a ventilación, sostenimiento, electricidad, explosivos, EPP, entre otros?
5. ¿Cuáles es la jerarquía de controles que debe establecerse en una minería de carbón de socavón que ayude a mitigar los factores de riesgo?
6. ¿Qué planes de sensibilización y concientización podrían establecerse en el sector minero que ayuden a comprender la importancia de la salud en las labores mineras, inclusive aquellas que son percibidas a largo plazo?

12. ANEXO 1

[Matriz Control de Documentos.xlsx](#).

13. REFERENCIAS

1. Agencia Nacional de Minería. (ANM). Emergencias mineras: estadísticas 2018. [sitio en internet]. 2018. [citado septiembre 16 de 2019]. Disponible en: https://www.anm.gov.co/?q=emergencias_mineras
2. Ministerio de Minas y Energía. MinMinas. Glosario técnico minero. [sitio en internet]. Bogotá, Colombia: MinMinas; 2015. [citado 16 de septiembre de 2019] Disponible en: <https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf>
3. Organización Internacional del Trabajo. OIT. [sitio en internet]. Proyecto de repertorio de recomendaciones prácticas sobre seguridad y salud en las minas de carbón subterráneas. 2006. Ginebra. [citado 16 de septiembre de 2019] Disponible en: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/normativeinstrument/wcms_112412.pdf
4. Álvarez F. Conti L. Valderrama F. Moreno O y Jiménez I. Salud ocupacional. 2009 Bogotá: Ecoe; Ediciones.

5. Martínez G. C., Mosquera J. A. [sitio en internet]. Silicosis y neumoconiosis de los mineros del carbón. Manual de neumología ocupacional. Madrid: Ergon; 2007. 197-214. [citado 16 de septiembre de 2019]. Disponible en: http://www.ins.es/documents/10307/10505/fichero110_1.pdf#page=203
6. Fernández Á. R., Martínez G. C., Quero M.A., Blanco P. J., Carazo F. C. y Amador P. [Internet] Normativa para el diagnóstico y seguimiento de la silicosis. Archivos de bronconeumología. 2014. [citado 16 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.archbronconeumol.org/es-pdf-S0300289614003275>
7. Martínez G C. [Internet]. Neumoconiosis. Revista de patología respiratoria. 2005; 8(1): 43-44. [citado 16 de septiembre de 2019]. Disponible en: https://www.revistadepatologiarespiratoria.org/descargas/pr_8-1_43-44.pdf
8. OIT. [sitio en internet], La minería: un trabajo peligroso. 2015. [citado 16 de septiembre de 2019]. Disponible en: https://www.ilo.org/safework/areasofwork/hazardous-work/WCMS_356574/lang--es/index.htm
9. MinMinas. [sitio en internet]. Estructura Institucional minera. S.f. [citado 16 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.minenergia.gov.co/estructura-institucional-minera>
10. García G. J. [sitio en internet]. Perfil tributario de la minería en Colombia. Lima. 2014. [citado 16 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.imf.org/external/spanish/np/seminars/2014/natres/pdf/garcia3.pdf>
11. Unidad de Planeación Minero Energética. UPME. [sitio en internet]. Indicadores de la minería en Colombia. 2014. [citado 16 de septiembre de 2019]. Bogotá. Disponible

en: http://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/EstudiosPublicaciones/Indicadores_de_la_mineria_en_Colombia.pdf

12. MinMinas. [sitio en internet] Reglamento de seguridad en las labores de minería subterránea. Decreto 1886 del 21 de septiembre de 2015. [citado 16 de septiembre de 2019] Disponible en: https://www.anm.gov.co/sites/default/files/decreto_1886_de_2015.pdf
13. Centro para el control y la prevención de enfermedades. (CDC). [sitio en internet] Consecuencias para la salud de la sobreexposición al polvo respirable de carbón y sílice. [citado 16 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.cdc.gov/spanish/niosh/mining/topics/respirable.html>
14. Cely J, García J y Manrique F. Calidad de vida relacionada con la salud a población minera de Boyacá. [sitio en internet]. Revista de salud pública. 19 (3): 362-367. 2017. [citado 16 de septiembre de 2019]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v19n3/0124-0064-rsap-19-03-00362.pdf>
15. CDC. [sitio en internet]. Programa de vigilancia de la salud de los trabajadores del carbón. 2018. [citado 16 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.cdc.gov/niosh/topics/cwhsp/default.html>
16. Ministerio del trabajo. Mintrabajo. [sitio en internet]. Inspectores de trabajo se capacitan en seguridad y salud minera. Octubre 2017 comunicado de prensa. [citado 16 de septiembre de 2019]. Disponible en: <http://www.mintrabajo.gov.co/web/guest/prensa/comunicados/2017/octubre/inspectores-de-trabajo-se-capacitan-en-seguridad-y-salud-minera?inheritRedirect=true>

17. Álvarez H F y Faizal G E. [sitio en internet]. Salud ocupacional y prevención: guía práctica. Bogotá: Ediciones de la U; 2012. [citado 17 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.unbosque.edu.co/lib/bibliobosquesp/reader.action?docID=3198909&query=MINAS%2BDE%2BSOCAVON%2BEN%2BCOLOMBIA%2BSALUD%2B OCUPACIONAL>
18. Mintrabajo. [Internet]. Se busca reducir los accidentes y enfermedades laborales en el sector minero. 2017. [citado 17 de septiembre de 2019]. Disponible en: <http://www.mintrabajo.gov.co/web/guest/prensa/comunicados/2017/septiembre/se-busca-reducir-accidentes-y-enfermedades-laborales-en-el-sector-minero?inheritRedirect=true>
19. MinSalud. [Internet]. Decreto 1607 de 2002. Se modifica la tabla de clasificación de actividades económicas para el sistema general de riesgos profesionales y se dictan otras disposiciones. https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/DECRETO%201607%20DE%202002.pdf
20. Mintrabajo. Decreto de 2019. Actualización de la tabla de clasificación de actividades económicas para el sistema general de riesgos laborales y se dictan otras disposiciones. <http://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/59926232/Proyecto+Decreto-+Actualizacion+Tabla+de+Clasificacion+de+Actividades+Economicas-+Sistema+General+de+Riesgos+Laborales.pdf>

21. Escribano DA. y Vaquero BJ. Enfermedades por agentes inorgánicos Neumoconiosis. Mesotelioma. [Internet]. s.f. [citado 24 de septiembre de 2019] Disponible en: https://www.neumosur.net/files/publicaciones/ebook/54-NEUMOCONIOSIS-Neumologia-3_ed.pdf
22. López RP, Nava LR, Salinas TS, Santos CR, Marín CI, Méndez VM. Neumoconiosis en trabajadores expuestos a polvos inorgánicos. Revista Médica del IMSS [Internet]. 2008. 46(2):163–70. [citado 24 de septiembre de 2019] Disponible en: [https://search.ebscohost-com.ezproxy.javeriana.edu.co/login.aspx?direct=true&db=lth&AN=35049017&lang=es&site=eds-live](https://search.ebscohost.com.ezproxy.javeriana.edu.co/login.aspx?direct=true&db=lth&AN=35049017&lang=es&site=eds-live)
23. Molina MN. ¿Qué es el estado del arte? Ciencia y Tecnología para la salud Visual y Ocular [Internet] 2005. (5), 73-75. [citado 24 de septiembre de 2019] Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5599263>
24. Gómez Vargas, M., Galeano Higueta, C. y Jaramillo Muñoz, D. A. El estado del arte: una metodología de investigación. [Internet] Revista Colombiana de Ciencias Sociales, (julio-diciembre, 2015); 6(2), 423-442. [citado 24 de septiembre de 2019]. Disponible en: http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/6843/1/G%C3%B3mezMaricell_y_2015_EstadoArteMetodolog%C3%ADa.pdf
25. Henderson GA. El arte de elaborar el estado del arte en una investigación Serie técnica de manuales prácticos para el investigador. [Internet] 2014. [citado 24 de septiembre de 2019]. Disponible en:

<https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9145/El%20estado%20del%20arte%202017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

26. García PJ. Revisión sistemática de literatura para artículos [Internet]. Salamanca; 2017 [citado el 10 de mayo de 2019]. p. 90. Disponible en: <https://repositorio.grial.eu/bitstream/grial/756/3/Revision%20sistemica%20de%20literatura%20para%20articulos.pdf>
27. Guirao GS. Utilidad y tipos de revisión de literatura. [Internet]. 2015 [Citado el 10 de mayo de 2019];9(2). Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1988-348X2015000200002&lng=en&nrm=iso&tlng=en
28. Herrick R. Higiene industrial. Editor. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo [Internet]. Madrid: OIT; 1998 [Citado el 22 de abril de 2019]. p. 30.1-30.38. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/161958/Cap%C3%ADtulo+30.+Higiene+industrial>
29. Feo RJ. Estrategias de enseñanza en el uso de normas de seguridad e higiene industrial del Laboratorio de Turbomáquinas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela. Revista de Investigación [Internet]. 2011 [citado el 20 de mayo de 2019]; 35(74):41–64. Disponible en: <https://search-ebsohost-com.ezproxy.javeriana.edu.co/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=82363365&lang=es&site=eds-live>

30. Ordoñez NJ. La seguridad e higiene industrial y el aumento de la productividad en los centros de trabajo. [Internet]. 2016. Revista Tecnológica;12(18):45–46. [citado el 20 de mayo de 2019] Disponible en: http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rtft/v12n18/v12n18_a10.pdf
31. Henao Robledo F. Diagnóstico integral de las condiciones de trabajo y salud. 3era Edición. Ecoe Ediciones, editor. Bogotá: Ecoe Ediciones; 2017. p298
32. Anaya VA. Diagnóstico de seguridad e higiene del trabajo listados de verificación basados en la normatividad mexicana. e-Gnosis [Internet]. 2006; (4):0. [citado el 20 de mayo de 2019] Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/730/73000403.pdf>
33. OIT. Seguridad y Salud en el trabajo. [Internet] s.f. [citado el 20 de mayo de 2019]. Disponible en: <https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/lang-es/index.htm>
34. Riaño CM y Palencia SF. Los costos de la enfermedad laboral. Revista Facultad Nacional Salud Pública [Internet]. 2015 [Citado el 20 de mayo de 2019];33(2):218–227. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5107315>
35. Gómez CD. Accidentes de trabajo y enfermedades laborales en los sistemas de compensación laboral. Rev Bras Med do Trab [Internet]. 2016 [citado 10 de mayo de 2019];14(2):153–61. Disponible en: <http://www.rbmt.org.br/details/44/pt-BR>
36. UPME. Unidad de planeación minero energética. La cadena del Carbón. MinMinas. 231. Edición 2. 2012. Disponible en: https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/1238/1/upme_231_cadena%20del%20carb%C3%B3n_2012.pdf

37. Secretaria de Economía. Coordinación General de Minería. Perfil del mercado del carbón. [Internet]. 2016. [citado 13 de mayo de 2019] México. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/184823/Perfil_Carbon_2016.pdf
38. Secretaria de Estado de Energía de España. Guía para la prevención de explosiones de polvo de carbón en minería subterránea y limitación de sus consecuencias. [Internet]. 2009. [citado 13 de mayo de 2019]. Disponible en: <https://energia.gob.es/mineria/Seguridad/Guias/Gu%C3%ADas/2009-Guia-barreras-polvo-carbon.pdf>
39. Baquero K, Blandón A., y Molina J. Análisis de los factores que influyen en la explosividad del polvo de carbón en las minas subterráneas. Ingeniería y Competitividad [Internet]. 2012. [citado mayo 13 de 2019];14(2):147–60. Disponible en: <https://search-ebSCOhost-com.ezproxy.javeriana.edu.co/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=87334116&lang=es&site=eds-live>
40. Calle D. Polvo de carbón: una bomba de tiempo en las minas del país. [Periódico digital] N° 144 pagina 8 Medellín: Colombia. Agencia de Noticias UNAL. [citado mayo 13 de 2019] Disponible en : <https://issuu.com/mediosdigitales/docs/unperiodico144>
41. Álvarez AC, Arias, QA, Builes CJ, Ordóñez CO, Zapata MG. [Internet]. Evaluation of load losses in the ventilation circuit by the use of fortification in coal mines, study case: Nechi Mine, Amaga, Antioquia. [citado mayo 13 de 2019]. Boletín de Ciencias de la Tierra; 2014(36):33-41.

42. MinAmbiente. [Internet]. Diagnostico nacional de salud ambiental. [citado mayo 13 de 2019]. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IGUB/Diagnostico%20de%20salud%20Ambiental%20compilado.pdf>
43. Positiva compañía de seguros. [Internet] Guía de seguridad para ventilación de minas subterráneas. Bogotá; Colombia. 2017. [citado mayo 13 de 2019]. Disponible en: https://www.anm.gov.co/sites/default/files/folleto_mineria_ventilacion.pdf
44. Pescador B y Roa L. [Internet]. Dualidad, la locomotora minera Vs El pulmón negro. Revista Med. Vol. 24 (2) Bogotá. 2016. [citado mayo 13 de 2019] Disponible en: <http>
45. Varona M, Ibáñez PM, Briceño L, Groot H, Narváez D, Palma M, et al. [Internet]. Evaluación de la exposición al polvo de carbón y de sílice en sitios de minería subterránea en tres departamentos de Colombia. Revista Biomédica. 2019. [citado 15 de mayo de 2019];38(4):467–78. Disponible en: <https://search-ebsohost-com.ezproxy.javeriana.edu.co/login.aspx?direct=true&db=lth&AN=134041496&lang=es&site=eds-live>.
46. Manrique AR, Manrique AD, Manrique OV. [Internet]. Evaluación del riesgo por exposición ocupacional en una mina de carbón en Socha Boyacá. Rev. salud. hist. sanid. 2016;11(2):105-114 [citado 15 de mayo de 2019]. DOI: 10.1907/shs.112.237
47. Arcos G. y Carrillo U. [Internet]. Diseño e implementación del sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo para el consorcio CMR, mina los caracoles, vereda Sagra abajo, sector Cotamo, municipio de Socha, departamento de Boyacá. 2014.

[citado 15 de mayo de 2019]. Disponible en:

<https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1516/1/TGT-257.pdf>

48. MinMinas. Decreto 1335 de 1987. [Internet]. Mediante el cual se expide el reglamento de seguridad en las labores subterráneas. [citado 15 de mayo de 2019] Disponible en: https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/Decretos/D1335_87.pdf

49. Gastañaga A y Yataco A. [Internet]. Control del contaminante polvo en minas y plantas concentradoras. Instituto de Salud Ocupacional, Ministerio de salud pública y asistencia social. Lima; Perú. 1963. [citado 15 de mayo de 2019]. Disponible en: http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/1294_MINSA1495.pdf

50. República de Colombia. [Internet]. Decreto 614 de marzo 14 de 1984. [citado 15 de mayo de 2019]. Disponible en: http://copaso.upbbga.edu.co/legislacion/decreto_614%2084%20Organizacion%20y%20Administracion%20Salud%20Ocupacional.pdf

51. OSHA. Occupational Health and Safety Assessment Series. [Internet]. Niveles de control de riesgo según OHSAS 18001 norma para el SGSST. 2015. [citado 15 de mayo de 2019]. Disponible en: <https://www.nueva-iso-45001.com/2015/11/control-riesgo-ohsas-18001-norma-sgsst/>

52. OSHA. Major requirements of osha's respiratory protection standard 29 CFR 1910.134: Programa de protección respiratoria. [Internet]. 2006. [citado 15 de mayo de 2019]. Disponible en: https://www.osha.gov/dte/library/respirators/major_requirements.pdf

53. Seguridad Minera. Elementos de un programa de protección respiratoria. [Internet]. 2019. [citado 15 de mayo de 2019]. Disponible en:

<http://www.revistaseguridadminera.com/gestion-seguridad/elementos-de-un-programa-de-proteccion-respiratoria/>

54. OSHAS. Tipos de respiradores. [Internet]. s.f. [citado 15 de mayo de 2019] Disponible en:

https://www.osha.gov/video/respiratory_protection/resptypes_sp_transcript.html

55. NIOSH. Conozca su respirador: Su salud podría depender de ello. [Internet]. 2003. [citado 15 de mayo de 2019]. Disponible en:

https://www.cdc.gov/spanish/niosh/docs/2013-138_sp/default.html

56. ICOH. International Commission on Occupational Health. Código Internacional de Ética para los Profesionales de la Salud Ocupacional [Internet]. 2002. [citado 15 de mayo de 2019]. Disponible en:

http://www.icohweb.org/site_new/multimedia/core_documents/pdf/code_ethics_spa.pdf

57. OIT. Principios directivos técnicos y éticos relativos a la vigilancia de la Salud de los trabajadores. [Internet]. 1998. [citado 17 de mayo de 2019]. Disponible en:

https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/---publ/documents/publication/wcms_publ_9223108284_es.pdf

58. MinSalud. Resolución número 8430 de 1993. *Por el cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud.* [Sitio en internet]. 1993. [citado 17 de mayo de 2019]. Disponible en:

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/RESOLUCION-8430-DE-1993.PDF>

59. Salamanca M, Rodríguez O, Fernández A, Niño J y Rojas B. [Sitio en internet]. Modernisation of the underground coal mining sector in Colombia – a proposal from the academy, Underground Mining Technology 2017, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 523-531. [citado 1o de junio de 2019] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/320556996_Modernisation_of_the_underground_coal_mining_sector_in_Colombia-a_proposal_from_the_academy
60. Sáez E. Noticia. Minería Pan Americana. [Sitio en internet]. Colombia mantendrá estable producción de carbón en 2019. [citado 15 de junio de 2019] Disponible en: <https://www.mineria-pa.com/noticias/colombia-mantendra-estable-produccion-de-carbon-en-2019/>
61. UPME y Consorcio Carbonífero. [Sitio en internet]. Análisis de la estructura de costos de la minería y transporte asociado por escalas de producción de carbón en los departamentos de norte de Santander, Santander, Boyacá y Cundinamarca. 2013. [citado 15 de junio de 2019] Disponible en : http://www.upme.gov.co/SeccionMineria_sp/ANALISIS_ESTRUCTURA_DE_COSTOS_DE_MINERIA_TRANSPORTE.pdf
62. MinMinas. Censo Minero Departamental 2010- 2011. [Sitio en internet]. MinEnergía. Colombia. [citado 17 de junio de 2019]. Disponible en: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/698204/CensoMinero.pdf/093cec57-05e8-416b-8e0c-5e4f7c1d6820>

63. Aguilar J. Explotación minera, preparación y concentración. [Sitio en internet]. [citado 17 de junio de 2019]. Disponible en : <http://recursosbiblio.url.edu.gt/Libros/2013/cmII/2.pdf>
64. Carbuni6n. Federaci6n Nacional de empresarios de minas de carb6n. [Sitio en internet]. s.f. Madrid. Espa1a. [citado 17 de junio de 2019]. Disponible en: http://www.carbunion.com/panel/carbon/uploads/extraccion_carbon_2.pdf
65. Ministerio de educaci6n. Sector minero: minerales oro y carb6n. Marco Nacional de Cualificaci6n. Bogot1, Colombia. 2017. Disponible en: https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-362826_recurso.pdf
66. NIOSH. Instituto Nacional para la Seguridad y Salud ocupacional. Lesiones por derrumbes de rocas en minas subterr1neas. 2004-106, 2003 Nov; :1-4. Disponible en: https://www.cdc.gov/spanish/niosh/docs/wp-solutions/2004-106_sp/default.html
67. Carrillo O. Estudio de caso sobre la extracci6n del carb6n mineral con uso de explosivos en la mina a cielo abierto cerrej6n, Colombia. 2017 Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/17277/CarrilloDuarteOscarWilliams2018.pdf;jsessionid=65734769CB17A81EB08FB78471927984?sequence=1>
68. Cardona H, Carmona U. An1lisis del ciclo de vida de la explotaci6n de carb6n en la cuenca del Sinifan1, Antioquia. Enero - junio de 2017. Vol.12, No.1. pp 33-40 Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v12n1/1909-0455-pml-12-01-00033.pdf>

69. Díaz Aguado MB. Carga, transporte y extracción en minería subterránea. Oviedo: Septem Ediciones; 2006.
70. SONAMI. Sociedad Nacional Minera. Guía de operación para la pequeña minería. 2014. Chile. Disponible en: <https://www.sonami.cl/v2/wp-content/uploads/2016/03/3.Descripcion-proyectos-explotacion-minera.pdf>
71. Ministerio de la Protección Social. Guía procedimiento para la adquisición de explosivos y accesorios para voladuras. 2016. Disponible en: <https://www.indumil.gov.co/wp-content/uploads/2016/02/GuiaExplosivos.pdf>
72. Revista de Seguridad Minera-ISEM [Publicación periódica en línea]. Perforación minera: tipos, clases de maquinaria y ubicación de taladros. 2017. Octubre [citada: 2019 octubre 7]; [aproximadamente 7 pp.]. Disponible en: <http://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/perforacion-minera-tipos-clases-de-maquinaria-y-ubicacion-de-taladros/>
73. Seguridad minera N° 128, p 46-47. junio 2018. Diez factores humanos en accidentes con explosivos. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B-EFWHwBvMWfOWN3OTRiRmlZTWc/view>
74. Ministerio de Minas y Energía. MinMinas. Decreto 2222 de 1993. Por el cual se expide el Reglamento de Higiene y Seguridad en las Labores Mineras a Cielo Abierto. Disponible en: https://www.anm.gov.co/sites/default/files/decreto_2222_de_1993.pdf

75. Rojas C. y Tajan G. Detección de material particulado en suspensión en ambientes de baja iluminación, mediante el procesamiento digital de imágenes. 2014. Disponible en: <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1621/1/TGT-356.pdf>
76. Mintrabajo. Guía técnica de seguridad para el uso y manejo de explosivos en voladuras bajo tierra y a cielo abierto. Bogotá: Colombia. 2019. Disponible en: <http://www.mintrabajo.gov.co/prensa/comunicados/2019/agosto/mintrabajo-presenta-guia-tecnica-de-seguridad-para-uso-y-manejo-de-explosivos-en-voladuras-bajo-tierra-y-a-cielo-abierto>
77. ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists. [en línea]. 2018. [citada: 2019 octubre 7]. Disponible en: <https://www.acgih.org/tlv-bei-guidelines/tlv-chemical-substances-introduction>
77. Revista de Seguridad Minera-ISEM [Publicación periódica en línea]. Técnicas de minería subterránea. 2013. Octubre [citada: 2019 octubre 7]; [aproximadamente 7 pp.]. Disponible en: <http://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/tecnicas-de-mineria-subterranea-para-un-trabajo-seguro-y-rentable/>
78. Hermann F. Hamrin H. Walter S. Minas y Canteras. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Industria basada en recursos naturales. 2012. [sitio en internet]. Cap. 74. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/161971/Cap%C3%ADtulo+74.+Minas+y+canteras/c607493a-6209-4965-a586-3e16f5e7c66e?version=1.0>
79. Soto A. Cámaras y pilares minas. 2015. Disponible en: <https://www.slideshare.net/adrielsoto750/camaras-y-pilares-minas-2015-2-v>

80. Evans MA y Ramani RV. Minería del carbón. Encyclopedia Británica. [sitio en internet]. 2016. Disponible en: <https://www.britannica.com/technology/coal-mining/Choosing-a-mining-method>
81. Palomino S. La resistencia de los mineros en Colombia. El País [sitio en internet]. Noticia. 24 de julio de 2017. Disponible en: https://elpais.com/internacional/2017/07/22/actualidad/1500677676_341458.html
82. Pujol M. y Murillo M.J. Un mundo sin servicios financieros (2). 2019. Disponible en <https://www.responsiblemines.org/2019/09/un-mundo-sin-servicios-financieros-2/>
83. Alianza por la Minería Responsable (**AMR**). Aspectos económicos, administrativos y financieros de la pequeña minería. Envigado; Colombia. 2016. Disponible en: <http://www.responsiblemines.org/wp-content/uploads/2017/05/03-07-2017-Somos-Tesoro-Cartilla-5.pdf>
84. Güiza L. La pequeña minería en Colombia: una actividad no tan pequeña. Universidad del Rosario, Colombia. 2013. [sitio en internet]. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v80n181/v80n181a12.pdf>
85. Rosso M J. organizational structure for coal mine in Boyacá. 2014. UniAndes. rev.fac.cienc.econ., Vol. XXII (1), Enero-Junio 2014, 169-187. Disponible en: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfce/article/view/646/404>
86. Nocua D C. Sistema de Gestión de la seguridad y salud en el trabajo (SG-SST): Cooperativa de productores de Carbón de Cerroguayabo. 2013. Disponible en: https://issuu.com/leolcorreodeleo/docs/pso_cooprocargeua_2013

87. Ospina D. J. Manrique A. F. y Guío G. J. Salud y trabajo: minería artesanal del carbón en Paipa, Colombia. *Av.enferm.*, 28 (1): pp. 107-115, 2010. Disponible en: <http://revistas.unal.edu.co/index.php/avenferm/article/viewFile/15660/16442>
88. OIT. El pago a destajo. Disponible en: https://www.ilo.org/global/topics/wages/minimum-wages/definition/WCMS_541707/lang--es/index.htm
89. Jiménez C., Zabala I. e Idrovo A. Condiciones de trabajo y morbilidad entre los mineros de carbón en Guachetá. Cundinamarca: la mirada de los legos. *Biomédica, Revista del Instituto Nacional de Salud*; 35 (Supl, 2). pp 77-89. 2015. [citado el 8 de octubre de 2019]; [sitio en internet] Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bio/v35nspe/v35nspea09.pdf>
90. Echeverry R y Campo L. Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) para la mina el Porvenir, municipio de Móngua, departamento de Boyacá. Tesis. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2016. Disponible en : <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1611/1/TGT-346.pdf>
91. Hoyos G. y Martínez C. “Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) para la mina Betania ubicada en el municipio de Socotá departamento de Boyacá”. Tesis. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2014.
92. Pérez MC. Prácticas de la minería de carbón del municipio de Titiribí-Antioquia y su relación con las dinámicas de salud y enfermedad en sus trabajadores. Universidad de Antioquia. 2017. Disponible en:

http://200.24.17.74:8080/jspui/bitstream/fcsh/1061/1/PerezMar%C3%ADn_2017_Practicas%20MineriaCarbon.pdf

93. Mintrabajo. Código sustantivo del trabajo. Disponible en: <http://www.mintrabajo.gov.co/normatividad/leyes-y-decretos-ley/codigo-sustantivo-del-trabajo>
94. República de Colombia. Mintrabajo. Ley 50 de 1990. “Por la cual se introducen reformas al Código Sustantivo del Trabajo y se dictan otras disposiciones.”. Art. 20. Duración máxima legal de la jornada ordinaria de trabajo Disponible en: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=281
95. Ley 11 de 1984. Por la cual se reforman algunas normas de los Códigos Sustantivo y Procesal del Trabajo. Art. 7. Suministro de calzado y vestido de labor. Disponible en: <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/1567564>
96. OIT. Información sobre la Minería en pequeña escala. Disponible en: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/documents/publication/wcms_067586.pdf
97. Garrote-Wilches CF, Malagón-Rojas JN, Morgan G, Combariza D, Varona M. Caracterización de las condiciones de salud respiratoria de los trabajadores expuestos a polvo de carbón en minería subterránea en Boyacá, 2013. Revista Salud UIS [Internet]. 2014 Sep [cited 2019 Oct 8];46(3):237–47. Available from: <https://search-ebsohost-com.ezproxy.javeriana.edu.co/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=100271266&lang=es&site=eds-live>

98. Fedesarrollo. Pequeña y mediana minería de carbón del interior del país: alternativa de comercialización y financiación a partir de la conformación de alianzas estratégicas. 2011. Disponible en: <https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/363>
99. Minambiente. Ley 685 de 2001. *por la cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones.* 2001. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/2001/ley_0685_2001.pdf
100. OIT. Organización Internacional del Trabajo. Convenio Núm. 169 de la OIT sobre Pueblos Indígenas y Tribales. Declaración de las Naciones Unidas sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. 2014. Disponible en: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---americas/---ro-lima/documents/p.ublication/wcms_345065.pdf
101. Serrano A. Martínez M. y Fonseca L. Diagnóstico y caracterización de la minería ilegal en el municipio de Sogamoso, hacia la construcción de estrategias para la sustitución de la minería ilegal. 2016. Revista de la Facultad de Ciencias. Económicas y Administrativas. Universidad de Nariño. Vol. XVII. No. 1 – 1er. Semestre 2016, enero-Junio – Páginas 104-119. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/tend/v17n1/v17n1a06.pdf>
102. Minambiente. Resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017. Por el cual se adopta la norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/96-res%202254%20de%202017.pdf>

103. González N, Díaz SL, Wilches ML, Franky MP, Méndez C y Herrera A. Valoración mediante espirometría de mineros del carbón de Paipa, Colombia. *Biomédica* 2017; 37: pp. 498-506.
104. Díaz m. Manual de salud y seguridad en trabajos de minería. Buenos Aires: Aulas y andamios. 2009. Disponible en: https://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/salud_seg_mineria.pdf
105. AIHA. American Industrial Hygiene Association. Prevalence of black lung disease in coal miners reaches 25-year high. 2018. Disponible en: <https://aiha.org/news/prevalence-of-black-lung-disease-in-coal-miners-reaches-25-year-high>
106. Blackley DJ, Crum JB, Halldin CN, Storey E, Laney AS. Resurgence of Progressive Massive Fibrosis in Coal Miners — Eastern Kentucky, 2016. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 2016;65:1385–1389. DOI: <http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm6549a1>
107. Lorenzo M y Cases E. Neumoconiosis. *Revista de medicina*. 2010;10(64): pp.4415-22. Disponible en: <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.uniminuto.edu/sdfe/pdf/download/eid/1-s2.0-S0304541210701876/first-page-pdf>
108. Minsalud. Análisis de la situación de salud. Colombia; 2018. Disponible en : <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/ED/PSP/asis-nacional-2017.pdf>
109. OIT. Norma C187 - Convenio sobre el marco promocional para la seguridad y salud en el trabajo. *Promover la mejora continua de la seguridad y salud en el trabajo*.

2006 (núm. 187). Disponible en:
https://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=1000:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:C187

110. Pino CS., y Ponce BG. Comportamiento de la enfermedad laboral en Colombia 2015-2017. 2019. Revista Fasecolda, (175), 48-55. Recuperado a partir de <https://revista.fasecolda.com/index.php/revfasecolda/article/view/555>
111. OIT. Una guía de cinco pasos para empleadores, trabajadores y sus representantes sobre la realización de evaluación de riesgos en el lugar de trabajo. 2014. Ginebra. Disponible en: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/--safework/documents/publication/wcms_349874.pdf
112. OIT/OMS. WHO/ILO work-related burden of disease and injury: Protocol for systematic reviews of occupational exposure to dusts and/or fibres and of the effect of occupational exposure to dusts and/or fibres on pneumoconiosis. 2018. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com.ezproxy.javeriana.edu.co/science/article/pii/S0160412017321785?via%3Dihub>.
113. Ministerio de minas y energía- Guía de seguridad de Positiva [Sitio en internet]: <https://www.minenergia.gov.co/guia-de-seguridad-para-ventilacion-de-minas-subterraneas>.
114. Ministerio de minas y energía- Guía de seguridad de Positiva [Sitio en internet]: <https://www.minenergia.gov.co/guia-de-seguridad-para-ventilacion-de-minas-subterraneas>.

115. Ziebttec, MINING AND PROCESS. Sistema de ventilación en minas de socavón:
http://www.ziebttec.cl/mineria-subterranea-ventiladores_axiales_mineros_auxiliares.php
116. Ministerio de minas y energía- Guía de seguridad de Positiva [Sitio en internet]:
<https://www.minenergia.gov.co/guia-de-seguridad-para-ventilacion-de-minas-subterraneas>.
117. Ministerio de minas y energía- Guía de seguridad de Positiva [Sitio en internet]:
<https://www.minenergia.gov.co/guia-de-seguridad-para-ventilacion-de-minas-subterraneas>. (Reglas de oro en la ventilacion).
118. NIOSH Respirator Selection Logic [Sitio en internet]:
<https://www.cdc.gov/niosh/docs/2005-100/pdfs/2005-100.pdf?id=10.26616/NIOSH PUB2005100>.
119. NIOSH Respirator Selection Logic [Sitio en internet]:
<https://www.cdc.gov/niosh/docs/2005-100/pdfs/2005-100.pdf?id=10.26616/NIOSH PUB2005100>.
120. DRAGER Seguridad y ventilación del lugar de trabajo en minería [Sitio en internet]:
https://www.draeger.com/es_mx/Mining/Applications/Ventilation-and-Plant-

Safety?gclid=CjwKCAiAlajvBRB_EiwA4vAqiI55Vl8EeL2-
w9aH0eWNWm2A3CcFuhJUGHmp3OX_bMYpUbWPPJLJORoC58EQAvD_BwE.

121. Ministerio de salud – Silicosis [Sitio en internet]:
<https://www.minsalud.gov.co/Documentos%20y%20Publicaciones/GATISO%20PARA%20NEUMOCONIOSIS.pdf>.