



Facultad de Ingeniería

Ingeniería de Seguridad Industrial y Minera

Tesis:

**Medidas preventivas para evitar afecciones a la salud por exposición al contaminante polvo en una planta chancadora de agregados para la construcción**

Luis Heinner Garcia Granda

Willy Anthony Sánchez Shapiama

para optar el Título Profesional de Ingeniero de Seguridad Industrial y Minera

Asesor: Cecilia Elizabeth Albújar Verona

Chiclayo – Perú  
2021

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de investigación va dedicado a las personas que día a día, sin importar la distancia ni el tiempo, estuvieron con nosotros y nos dieron esas palabras de aliento necesarias para continuar. Porque a partir de ahora, juntos y de la mano; caminemos por el mágico sendero de la vida y la prosperidad.

...con todo nuestro amor a ese gran equipo que nos regaló el destino...

Nuestras familias.

## **AGRADECIMIENTO**

A la empresa por habernos dado la confianza durante 05 años para ingresar a sus instalaciones y brindarnos la información necesaria.

A la ingeniera Cecilia Albújar por su gran asesoría y ayuda en cada momento de consulta y soporte en este proyecto de investigación.

A todas nuestras familias por haber conspirado para mantenernos firmes y no decaer durante este gran esfuerzo que comprendió nuestra carrera como ingenieros.

## **RESUMEN**

El objetivo de la presente investigación es proponer medidas de prevención para evitar afecciones a la salud por exposición al contaminante polvo en una planta chancadora de agregados para la construcción de la región Lambayeque. Para ello se evaluó indicadores como las fuentes de emisión, cantidad de partículas respirables de polvo, número y tamaño de partículas, controles de polvo fugitivo, programas de vigilancia, entre otros. La propuesta permitirá que en el lugar de trabajo donde se dé cumplimiento a las normas legales vigentes de seguridad y salud en el trabajo.

La metodología utilizada es cuantitativa, de diseño descriptivo, de tipo no experimental y correlacional. En una primera fase se identificó que el proceso de chancado de piedra y el tránsito de vehículos generan emisiones excesivas de polvo en el ambiente de trabajo. Estas emisiones fueron monitoreadas utilizando el muestreador de aire de alto volumen Thermo Scientific, VFC-PM10, donde se observó que el valor de la concentración (659.68  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) supera más de 6 veces la norma ambiental ECA del aire, y más de 12 veces el nivel de la OMS. En el estrato donde está ubicada la cantera de la que se extrae la materia prima para el proceso de chancado, INGEMMET realizó un análisis geoquímico en la composición de las rocas y minerales encontrando una concentración de  $\text{SiO}_2$  entre 95.67-98.05 %. Así mismo a través de una encuesta aplicada a los trabajadores se evaluó la susceptibilidad personal que incrementa el riesgo de desarrollar afecciones a la salud por inhalación de polvo.

Como resultado de lo aplicado, se propuso medidas de control para evitar la emisión y dispersión del contaminante polvo en el ambiente de trabajo y acciones de tipo administrativo para reducir la tasa de enfermedades ocupacionales.

Finalmente se recomienda una posterior investigación para medir el impacto de la aplicación de las medidas preventivas propuestas.

Palabras claves;

Afecciones respiratorias, contaminante polvo, sílice respirable, planta chancadora, monitoreos ocupacionales, factores de riesgo, controles ingenieriles, vigilancia de la salud.

## **ABSTRACT**

The present research aims to propose prevention measures to avoid health problems due to exposure to the dust pollutant in an aggregates crushing plant for the construction of the Lambayeque region. For this, indicators such as emission sources, quantity of respirable dust particles, number and size of particles, fugitive dust controls, surveillance programs, among others, were evaluated. The proposal will allow the workplace to comply with the current legal regulations on safety and health at work.

The methodology used is quantitative, descriptive in design, non-experimental and correlational. In a first phase, it was identified that the stone crushing process and the traffic of vehicles generate excessive dust emissions in the work environment. These emissions were monitored using the Thermo Scientific high volume air sampler, VFC-PM10, where it was observed that the concentration value ( $659.68 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ) exceeds more than 6 times the ECA environmental standard of air, and more than 12 times the WHO level. In the stratum where the quarry from which the raw material is extracted for the crushing process is located, INGEMMET carried out a geochemical analysis on the composition of the rocks and minerals, finding a  $\text{SiO}_2$  concentration between 95.67-98.05%. Likewise, through a survey applied to the workers, the personal susceptibility that increases the risk of developing health conditions due to inhalation of dust was evaluated.

As a result of what was applied, control measures were proposed to avoid the emission and dispersion of the pollutant dust in the work environment and administrative actions to reduce the rate of occupational diseases.

Finally, a subsequent investigation is recommended to measure the impact of the application of the proposed preventive measures.

Keywords;

Respiratory diseases, dust pollutant, respirable silica, crushing plant, occupational monitoring, risk factors, engineering controls, health surveillance.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	2
RESUMEN.....	4
ABSTRACT .....	6
ÍNDICE GENERAL .....	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	12
ÍNDICE DE FIGURAS.....	13
INTRODUCCIÓN.....	15
CAPÍTULO 1.....	17
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	17
1.1. Planteamiento del Problema.....	17
1.2. Formulación del Problema .....	21
1.2.1. Problema General .....	21
1.2.2. Problemas Específicos .....	21
1.3. Objetivos .....	22
1.3.1. Objetivo General.....	22
1.3.2. Objetivos Específicos .....	22
1.4. Justificación e Importancia.....	23
1.5. Alcances y Limitaciones.....	24
CAPÍTULO 2.....	25
MARCO TEÓRICO .....	25
2.1. Antecedentes del Problema.....	25

2.2.	Marco Conceptual.....	29
2.2.1.	Afección a la Salud por Exposición al Polvo .....	29
2.2.1.11.	Diagnóstico de Silicosis .....	39
2.2.2.	Medidas de Prevención. ....	46
2.3.	Definición de Términos Básicos.....	59
2.3.1.	Emisión.....	59
2.3.2.	Concentración .....	59
2.3.3.	Polvo .....	59
2.3.4.	Monitoreo Personal.....	59
2.3.5.	Monitoreo Ambiental.....	59
2.3.6.	Proceso de Conminución.....	60
2.3.7.	Evaluación de Riesgos .....	60
2.3.8.	Higiene Industrial.....	60
2.3.9.	Enfermedad Profesional .....	60
2.3.10.	Exámenes Médicos Ocupacionales (EMO).....	60
CAPÍTULO 3.....		61
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....		61
3.1.	Tipo y Diseño de la Investigación .....	61
3.2.	Población, Muestra y Muestreo.....	61
3.3.	Variables de Estudio.....	62
3.3.1.	Operacionalización de Variables.....	62
3.4.	Técnicas, Instrumentos y Fuentes de Recolección. ....	63
3.4.1.	Identificación de Fuentes de Emisión y Sistemas de Control en el Proceso.....	63

3.4.2.	Muestreo de MP Menor a 10µm en el Lugar de Trabajo .....	63
3.4.3.	Concentración de la Sílice Libre en la materia prima .....	65
3.4.4.	Evaluación de Factores de Riesgos.....	66
CAPÍTULO 4.....		67
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		67
4.1.	Descripción del Proceso de Chancado. ....	67
4.1.1.	Ingreso de la Materia Prima.....	69
4.1.2.	Abastecimiento y Transporte de la Materia Prima.....	69
4.1.3.	Chancado Primario.....	69
4.1.4.	Zarandeo .....	69
4.1.5.	Chancado Secundario .....	69
4.1.6.	Almacenamiento del Producto Terminado .....	69
4.1.7.	Operaciones Auxiliares .....	69
4.1.8.	Tiempo de Permanencia de los Trabajadores en Planta.....	70
4.1.9.	Condiciones Ambientales .....	71
4.1.10.	Sistemas de Control de Polvo y Condiciones de Trabajo.....	74
4.2.	Evaluación de la Exposición del Contaminante Polvo.....	77
4.2.1.	Concentración de Polvo.....	77
4.2.2.	Características del Contaminante .....	79
4.3.	Factores de Riesgo.....	82
4.3.1.	Datos Demográficos .....	82
4.3.2.	Condición de Fumador .....	83

4.3.3.	Exposición Ambiental no Laboral.....	84
4.3.4.	Historial de Exposición Ocupacional.....	85
4.3.5.	Historial Clínico.....	87
4.3.6.	Sintomatología.....	87
4.4.	Propuesta de Medidas Preventivas .....	90
4.4.1.	Control de Ingeniería .....	90
4.4.1.1.	Primera Propuesta: Sistema de Control de Polvo por Niebla Seca .....	90
4.4.2.	Controles Administrativos .....	96
4.5.	Estimación del Impacto Económico .....	97
4.5.1.	Presupuesto del Sistema de Control de Polvo por Niebla Seca .....	97
4.5.2.	Presupuesto de Tratamiento con Emulsión Asfáltica .....	98
4.5.3.	Presupuesto de la Implementación del Protocolo de Vigilancia .....	100
4.5.4.	Escala de Infracciones y Sanciones para la Pequeña Minería (PPM) .....	101
CAPÍTULO 5.....		103
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		103
5.1.	Conclusiones.....	103
5.2.	Recomendaciones.....	104
ANEXOS.....		106
BIBLIOGRAFÍA.....		144

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Concentración de Sílice en Minerales.....	32
<b>Tabla 2</b> Actividades industriales con exposición a polvo de sílice libre .....	33
<b>Tabla 3</b> Eficiencia de Supresores para el control de polvo en caminos .....	50
<b>Tabla 4</b> Operacionalización de Variables.....	62
<b>Tabla 5</b> Parámetros de monitoreo .....	64
<b>Tabla 7</b> Evaluación de la concentración con los límites de protección.....	78
<b>Tabla 9</b> Concentración de Metales en muestra.....	81
<b>Tabla 10.</b> <i>Costo de Implementación del sistema de control por niebla seca</i> .....	98
<b>Tabla 11</b> <i>Análisis de precios unitarios</i> .....	99
<b>Tabla 12</b> <i>Evaluación y vigilancia de salud de los trabajadores expuestos a sílice</i> .....	100
<b>Tabla 13</b> Escala de infracciones y sanciones para la pequeña minería .....	102
<b>Tabla 14</b> Valores límites permisibles para sílice respirable.....	134
<b>Tabla 15</b> <i>Periodicidad de la Vigilancia Ambiental según Nivel de Riesgo.</i> .....	135

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Bomba de muestreo de flujo constante, Calibrador, manguera de conexión, ciclón, medio filtrante, soporte de filtro.</i> .....	36
<b>Figura 2</b> Relación de la contaminación por partículas y las enfermedades cardiacas .....	43
<b>Figura 3</b> Diagrama del proceso de fabricación de emulsiones de asfalto .....	52
<b>Figura 4</b> Diagrama de Flujo del Proceso de Producción.....	68
<b>Figura 5</b> Tiempo de exposición semanal .....	70
<b>Figura 6</b> Ubicación Geográfica .....	72
<b>Figura 7</b> Clima promedio Picsi .....	72
<b>Figura 8</b> La temperatura promedio por hora, codificada por colores en bandas .....	73
<b>Figura 9</b> Velocidad promedio del viento .....	74
<b>Figura 10</b> Dirección del viento, Sur a Norte .....	74
<b>Figura 11</b> Peso inicial del filtro en Estufa eléctrica .....	77
<b>Figura 12</b> Evaluación de la concentración de partículas menores a 10 µm .....	79
<b>Figura 13</b> Rango de edad de la población expuesta.....	82
<b>Figura 14</b> Tiempo de servicio en la planta chancadora .....	83
<b>Figura 15</b> Condición de fumador .....	84
<b>Figura 16</b> Exposición ambiental no laboral.....	85
<b>Figura 17</b> Exposición a contaminantes químicos.....	86
<b>Figura 18</b> Antigua ocupación.....	86
<b>Figura 19</b> Condiciones de salud preexistentes .....	87
<b>Figura 20</b> Sintomatología .....	88
<b>Figura 21</b> Evaluación de la función pulmonar.....	89
<b>Figura 22</b> Evaluación de la capacidad pulmonar 1 .....	89
<b>Figura 23</b> Evaluación de sibilancias y disnea .....	90
<b>Figura 24</b> Efecto Venturi .....	92
<b>Figura 25</b> Esquema de colisión .....	93

<b>Figura 26</b> Tipos de colisión .....	93
<b>Figura 27.</b> Eficiencia operacional y ambiental .....	95
<b>Figura 28</b> Camino de acceso a punto de acopio .....	96
<b>Figura 29</b> Respiradores de media cara con doble cartucho / filtros 6003 Aprobado por NIOSH .....	116
<b>Figura 30</b> Monitoreo de partículas menor a 5.0 micrómetros.....	116
<b>Figura 31</b> Fuente de emisión: Trituración en la mandíbula primaria .....	117
<b>Figura 32</b> Polvo sedimentado en instalaciones, dispersión por vibraciones. ....	117
<b>Figura 33</b> Fuente de emisión: Camino de Rodadura .....	117
<b>Figura 34</b> Fuente de emisión: Zaranda y cambios de nivel de flujo del material .....	117
<b>Figura 35</b> Parámetros ambientales de monitoreo .....	118
<b>Figura 36</b> Presión barométrica (mmHg) .....	118
<b>Figura 37</b> Polvo sedimentado en las instalaciones .....	119
<b>Figura 38</b> Emisión de polvo en fajas transportadoras.....	119

## **INTRODUCCIÓN**

Las plantas chancadoras de agregados para la construcción son actividades en las que diferentes organismos administrativos nacionales e internacionales, han identificado exposiciones potenciales a polvo de sílice, el cual es el mayor componente de las rocas trituradas.

Es preocupante el nivel de polvo que desprenden las actividades de una planta chancadora, sobre todo aquellas que impactan de negativamente en la salud de los trabajadores, por lo que la presente investigación ha tomado la problemática existente en una de las empresas más significativas de la región Lambayeque del rubro minero, ubicado en el distrito de Mesones Muro de la provincia de Ferreñafe con el objetivo de proponer medidas de prevención para evitar afecciones a la salud por exposición al contaminante polvo.

La presente investigación es de metodología cuantitativa de diseño no experimental, de tipo transeccional descriptivo y correlacional. En un primer momento se identificaron las fuentes de emisión del contaminante polvo y se evaluó la concentración de material particulado. Posteriormente se caracterizó la composición química de estas emisiones para encontrar el contenido de sílice en la materia prima; así mismo se evaluó individualmente a cada trabajador para identificar la existencia de componentes de riesgo que puedan acrecentar la posibilidad de contraer una neumoconiosis o silicosis. Posteriormente se analizaron los resultados y se propuso un sistema de control de polvo por niebla seca en el proceso de chancado y la aplicación de emulsión bituminosa DMS-EB en el camino que va desde el acceso hasta el punto de acopio de materia prima, para prevenir la emisión y difusión del contaminante polvo. Así como un plan para la vigilancia de la calidad del aire

y la salud de los trabajadores, que nos permita desarrollar estrategias para prevenir enfermedades ocupacionales.

Finalmente se realizó una estimación predictiva de lo que costaría la implementación de la viabilidad económica de las medidas propuestas.

## **CAPÍTULO 1**

### **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Planteamiento del Problema**

El Foro de las Sociedades Respiratorias Internacionales (FIRS – Forum of International Respiratory Societies) estima que al menos 65 millones de individuos padecen de enfermedad crónica como la pulmonar obstructiva (EPOC) y al año fallecen 03 millones, lo que en todo el mundo la convierte en la tercera causa de fallecimientos. Así mismo se estima que 33,000 trabajadores sufrieron problemas respiratorios o pulmonares distintos del asma ocupacional, en el periodo de los años 2014 al 2015, perdiéndose un total de 664,000 días hábiles, con un promedio de 13 días hábiles perdidos por caso.

Los pulmones son el órgano más afectado por el aire insalubre en el lugar de trabajo, y la enfermedad ocupacional es un peligro común para la salud que tiene un enorme costo, causando la muerte, la discapacidad y el ausentismo. Más de 50 millones de empleados están luchando contra las enfermedades pulmonares ocupacionales.

La exposición a polvos minerales causa silicosis o neumoconiosis, y la exposición a antígenos orgánicos causa neumonitis por hipersensibilidad y asma. Estas enfermedades pueden prevenirse vigilando los ambientes de trabajo, para mantener inmisiones por debajo de los límites ocupacionales de exposición.

La calidad del aire y la concentración de contaminantes químicos es uno de los riesgos que se debe evaluar en todas las operaciones mineras, los minerales de transición son parte de la composición del suelo que se mezclan en el aire desde el proceso de extracción, llegando a producir desde neumoconiosis por inhalación de polvo fino hasta Silicosis por inhalación de dióxido de silicio. Por ello es importante determinar la concentración de los

minerales, analizando las masas de polvo respirable en el ambiente de trabajo. (Forum of International Respiratory Societies, 2017)

The Open Environmental Research Journal - publico en el año 2019 el análisis de la exposición laboral al polvo de sílice en trabajadores mineros del este de Irán, realizada durante los años 2016-2017 en seis minas, para determinar los niveles de polvo total y respirable, el contenido de sílice cristalina del suelo y en la zona de respiración. Se realizó un muestreo de polvo de acuerdo con el método N° 0600 del NIOSH. Las muestras se recolectaron en 114 estaciones en diferentes unidades de las minas. El contenido de sílice se midió usando el método estándar NIOSH No. 7601. Se encontró que la mayor concentración de polvo de sílice cristalina ( $2,81 \pm 0,49$  mg / m<sup>3</sup>) estaba en la unidad de trituración de la mina, con un promedio de sílice del 91%. El contenido de sílice libre de todas las muestras recolectadas fue hasta 100 veces superior al nivel estándar, lo que refleja el riesgo extremadamente alto de trabajar en estas minas (Golbabaei et al.,2019).

El polvo que trae sílice o cuarzo con un diámetro aerodinámico capaz de alcanzar la región alveolar de los pulmones y retenerse allí, llevan al desarrollo de afecciones como EPOC, fibrosis masiva progresiva y silicosis. El tiempo de exposición para para que se desarrolle los síntomas las enfermedades causadas por este agente depende de la vulnerabilidad personal, las exposiciones acumulativas al polvo y los porcentajes de cuarzo el polvo respirable, este último factor depende del tipo de roca o mineral (MSHA, 2019).

La silicosis en el Perú ha sido la segunda enfermedad más frecuente en las estadísticas de enfermedades ocupacionales registradas desde el 2018 hasta el 2020 en el sector minería (MINEM, 2020).

En Sociedad Minera Corona – Huancayo, en la planta concentradora, las chancadoras de mineral polimetálico se encargan en emanar polvo con partículas de sílice que sobrepasan los LMP (Límites máximos permisibles) establecidos hasta en 35 veces la legislación chilena sobre Factores Ambientales y Sanitarias Básicas en los Centros de Trabajo. La

empresa en mención no tiene implementada ninguna medida control de ingeniería para las emisiones, el humedecimiento en diferentes etapas del proceso resulta ineficiente debido a la energía calorífica, impactando en la salud de los trabajadores y contaminando el ambiente (Chipana Calderon, 2018).

La empresa peruana minera TITAN, Unidad de Producción Belén, en el proceso de chancado de minerales emitía grandes cantidades de material particulado a la atmosfera, alterando la salud ocupacional. La planta Belén contaba con un equipo de supresión de polvo ineficiente, sistema de regado con cisterna, y no hacia una disminución positiva en las fajas de transporte de mineral. A causa de ello, el producto particulado se movilizaba por las fuertes corrientes de viento hacia otras estructuras y edificios de la Planta, y en unas grandes cantidades al área de Operaciones (Tejada Ancco, 2018).

En la región Lambayeque la minería no metálica está comprendida por las actividades extractivas y plantas chancadoras de agregados para la construcción, de acuerdo a los datos del directorio minero 2020 del ministerio de energía y minas, existen 54 concesiones mineras entre productores pequeños mineros y artesanales.

Lambayeque es la quinta región productora de piedra de construcción y la cuarta de arena (gruesa/fina) según los datos obtenidos por la Dirección de Gestión Minera, el 29 de abril del 2021. En estas actividades económicas se realizan labores de extracción, manejo y tratamiento de minerales que liberan polvo, la NTS N°068 - MINSA/DGSP - V.1 ha establecido que en estas actividades existe un riesgo para la salud de los obreros debido a la exposición potencial a sílice. De acuerdo con los datos de La Declaración Estadística Mensual (ESTAMIN) publicada por el Ministerio de Energía y Minas en el año 2020, en el Perú existe un promedio de 177 692 trabajadores que pueden estar expuestos a polvo de sílice.

La Planta Chancadora de Agregados para la Construcción, objeto de la investigación, realiza el proceso de chancado en seco sin ninguna medida de supresión y control del contaminante polvo. Las actividades inician con el acopio de material o descarga, el

recorrido de los volquetes en vías no pavimentadas, la etapa de conminución del material, cribado, transporte de material y caída en zonas de descarga; generando la polución de polvo en el ambiente de trabajo la que se intensifica por las corrientes de aire. En el proceso y las actividades mencionadas, no se han establecido los lineamientos para la gestión en Salud Ocupacional que exige el Capítulo XII del reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería aprobado por DS 024 – 2016 EM y su modificatoria DS-023-2017-EM. Así mismo la empresa no evidencia registros para la tipificación de elementos de riesgos a la salud de los trabajadores, no se realiza la detección de enfermedades ocupacionales, no se encontraron registros para demostrar que se está dando cumplimiento a la RM 312-2011-MINSA y sus modificatorias con respecto a los Protocolos de Exámenes Médico Ocupacionales y Guías de Diagnóstico. En relación al ambiente de trabajo no se ha podido tener acceso a los resultados de los informes de los monitoreos ocupacionales y ambientales que permitan monitorear la calidad del aire e identificar la presencia de contaminantes químicos inhalables.

## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1. Problema General**

- ¿Qué medidas preventivas serán necesarias para evitar las afecciones a la salud por exposición al contaminante polvo en una planta chancadora de agregados para la construcción?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

- ¿En qué actividades de la planta chancadora de agregados para la construcción existen exposiciones peligrosas al contaminante polvo?
- ¿El nivel de concentración del contaminante polvo constituye un peligro para la salud de los trabajadores de la planta chancadora de agregados para la construcción?
- ¿Qué factores de riesgo pueden agravar la salud de los trabajadores de la planta chancadora de agregados para la construcción?
- ¿Cuáles son las medidas preventivas más adecuadas para evitar la emisión y difusión del contaminante polvo en una planta chancadora de agregados para la construcción?
- ¿Qué estrategias de prevención son necesarias implementar, para vigilar la salud de los trabajadores y la calidad del aire en la en planta chancadora de agregados para la construcción?
- ¿Los sistemas de control de polvo y las estrategias de prevención propuestas para evitar afecciones a la salud serán económicamente viables para su implementación?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Proponer medidas de prevención para evitar afecciones a la salud por exposición al contaminante polvo en una planta chancadora de agregados para la construcción.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Identificar en que actividades de la planta chancadora de agregados para la construcción existe una exposición peligrosa al contaminante polvo.
- Determinar si la concentración de polvo constituye un peligro para la salud de los trabajadores de una planta chancadora de agregados para la construcción.
- Evaluar los factores de riesgo que pueden agravar la salud de los trabajadores de una planta chancadora de agregados para la construcción.
- Identificar las medidas adecuadas para prevenir la emisión y difusión del contaminante polvo en una planta chancadora de agregados para la construcción.
- Elaborar un plan para la vigilancia de la calidad del aire y de la salud de los trabajadores de una planta chancadora de agregados para la construcción.
- Estimar la viabilidad económica de la implementación de los sistemas de control de polvo y estrategias de prevención propuestas para evitar afecciones a la salud de los trabajadores de una planta chancadora de agregados para la construcción.

#### **1.4. Justificación e Importancia**

De acuerdo con los datos obtenidos por la Dirección de Gestión Minera, el 28 de enero de 2021, Lambayeque es la quinta región productora de piedra de construcción y la cuarta de arena (gruesa/fina). En estas actividades económicas se realizan labores de extracción, manejo y tratamiento de minerales que liberan polvo, la NTS N°068 - MINSA/DGSP - V.1 ha establecido que en estas actividades existe un riesgo para la salud de los trabajadores debido a la potencial exposición a la sílice. De acuerdo con los datos de La Declaración Estadística Mensual (ESTAMIN) publicada por el Ministerio de Energía y Minas en el año 2020, en el Perú existe un promedio de 177 692 trabajadores que pueden estar expuestos a polvo de sílice.

En la región Lambayeque, la actividad minera se desarrollada a través de productores mineros pequeños y artesanales, los cuales deben salvaguardar la salud de los obreros, previniendo la ocurrencia de enfermedades laborales tales como la silicosis, neumoconiosis y similares. Para lograr dicho objetivo los titulares mineros deben realizar monitoreos de los distintos tipos de agentes que equivalgan a potenciales riesgos para el bienestar de los trabajadores. El desconocimiento de los agentes de contaminación inhalables y sus repercusiones potenciales por parte de los empleadores no está permitiendo controlar eficazmente los riesgos asociados y cumplir con los parámetros establecidos en el Reglamento referido a Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (RSSO).

Muchas de estas enfermedades ocupacionales pueden ser prevenidas, si se realiza una adecuada y anticipada evaluación de riesgos desde el diseño del proceso y la instalación de la planta. La presente investigación permitirá integrar a los SGSSO, las disposiciones de la OIT, OPS y OMS, a las que está suscrita el Perú, para lograr la supresión total de la silicosis como enfermedad ocupacional en el mundo para el año 2030. Así mismo permitirá

a los responsables del diseño y selección de nuevos procesos de chancado, maquinarias trituradoras, equipos y áreas de trabajo situar data pertinente sobre higiene industrial y ambiental para el bienestar de la salud de los trabajadores y del medio ambiente, evitando de esta manera que se tenga que recurrir a soluciones costosas y difíciles de aplicar durante la operación de las plantas de chancado.

### **1.5. Alcances y Limitaciones**

El proyecto se ha realizado en la región Lambayeque, en una planta ubicada el distrito de Picsi. La investigación está enfocada a proponer medidas para prevenir afecciones a la salud relacionadas a la neumoconiosis, enfermedad ocupacional originada la por exposición al contaminante polvo en operaciones mineras.

La primera etapa fundamental de la investigación, es la identificación de riesgos en las actividades, en esta etapa se determina la presencia del contaminante, el cual se evalúa para determinar la magnitud el impacto en la salud de los trabajadores. La primera etapa nos permite realizar una planificación adecuada para la selección de controles ingenieriles eficaces para reducir la concentración del contaminante sin ocasionar efectos perjudiciales en el medio ambiente. Junto a los controles ingenieriles, se propone la integración de procedimientos para la vigilancia del ambiente de trabajo respecto a la calidad del aire y la vigilancia de la salud de los trabajadores.

El análisis de la muestra de fracción respirable de polvo, para una evaluación cuantitativa de la concentración de sílice (N° CAS 14808-60-7) por el método NIOSH (espectrofotometría de absorción infrarroja), no se logró realizar. Este método nos hubiese permitido ser más precisos en la determinación de silicosis. Como método alternativo para determinar los efectos ocupacionales potenciales por inhalación excesiva de polvo, hemos vinculado las características de la materia prima, el tipo de proceso y operaciones mecánicas que producen las emisiones de polvo; con fuentes de información que nos permiten determinar de manera cualitativa la presencia de cuarzo o sílice respirable en cantidades excesivas.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### **2.1. Antecedentes del Problema**

Cáceres Lillo (2015) evaluó la correlación entre la manifestación a partículas finas ( $PM_{2.5}$ ) y su impacto en la función respiratoria de 140 niños, que estudiaban cerca de una playa altamente contaminada por residuos de minerales sulfurados. Inicialmente se midió y monitoreo los niveles de  $PM_{2.5}$  mediante fluorescencia de rayos X. Simultáneamente se evaluó los efectos agudos del contaminante en la salud aplicando un sondeo sobre salud respiratoria, circunstancias ambientales y particularidades demográficas. También se practicó exámenes de función respiratoria. Las agrupaciones entre la exhibición diaria a  $PM_{2.5}$  y la alteración del sistema funcional pulmonar fueron apreciadas mediante un modelo matemático de regresión de ecuaciones. En las derivaciones se encontró que si existía una mengua de la capacidad vital forzada (CVF) de los escolares por exposición a  $PM_{2.5}$ . El autor concluyó que la disminución de la CVF está correlacionada con el alto contenido de metales pesados en el material particulado muestreado.

Hoyos Mosqueda, (2015) evaluó la particularidad del aire, monitoreando la concentración de material particulado ( $PM_{10}$ ), identifico los efectos a la salud por las altas concentraciones de  $PM_{10}$ . Utilizó el equipo Hi-Vol. (Muestreador de alto volumen), en tres puntos por un periodo de 30 días, con el que se encontraron concentraciones de material particulado ( $PM_{10}$ ) de 629.04  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para el punto uno, 658.69  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para el punto dos y 870.42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el punto tres. Los resultados encontrados en los tres puntos excedían los 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para un periodo de 24 horas, establecidos en el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para el Aire.

Así mismo tanto Hoyos Mosqueda (2015) como Cáceres Lillo (2015) realizaron encuestas para conocer los resultados en salud que causa la exposición permanente a material particulado (PM10). Estas encuestas reflejan la percepción de los pobladores, que señalan que el aire está contaminado lo que genera complicaciones a la salud como molestias, desespero y aburrimiento; presentando con frecuencia agotamiento, ardor de ojos y tos.

Hermitaño Martínez (2018) encontró que existe relación importante entre el material particulado, emitido en el transcurso de trituración y molienda de la compañía minera Casapalca S.A, con las enfermedades respiratorias. El investigador consideró en su evaluación a todo el personal involucrado en el proceso de chancado y molienda de la empresa, haciendo un total de 143 trabajadores. Se consideró un punto de muestreo a 150 metros de la planta procesadora, luego se empleó el análisis estadístico con el paquete SPSS V.23.0. y la prueba Correlacional Pearson paramétrico, para determinar la analogía entre las variables. Como resultados se obtuvo que la concentración de material particulado PM10, sobrepasa el valor anual en el estándar de calidad de aire, encontrándose un promedio de 77.13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; y que, en relación a la incidencia de enfermedades respiratorias, el mayor porcentaje de repercusión se presentó en el personal que opera en la planta con un 67.8% (40 casos).

Mosqueira Estraver (2019) al evaluar los parámetros de material particulado 2.5 micras y 10 micras en la edificación de la carretera Chota – Cochabamba en Cajamarca, encontró certidumbre de que la presencia de este contaminante pone en riesgo la salud de los trabajadores. El autor realizó una evaluación de ambos parámetros generados en las actividades de movimiento de tierra, transporte y chancado de piedra. Los niveles de PM2.5 superaron el 50% de los ECA del aire. En el caso del PM10, en las plantas de chancado, se obtuvo un resultado de 74.90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y en las canteras de 74.40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , superando el 50% del ECA.

Bello et al., (2019) caracterizaron las exposiciones ocupacionales a sílice cristalina respirable (SCR) y al polvo respirable (PR) durante las actividades de demolición, trituración y perforación de una construcción en varios sitios de Massachusetts. Para ello se recolectaron 51 muestras de operarios que laboran en las áreas de demolición, trituración, perforación y reparación de puentes de subestructura. Las muestras PR se analizaron con la espectrofotometría infrarroja con transformada de Fourier (FT-IR) según el Método 7602 NIOSH para determinar el contenido de sílice cristalina. Las exposiciones personales de 8hrs a SCR fueron más altas que el límite de exposición permisible (PEL) de OSHA de  $50 \mu\text{g} / \text{m}^3$ , para el 80% de los trabajadores del área de trituración ( $n = 31$ ) y para el 50% de los trabajadores del área de máquinas trituradoras ( $n = 8$ ). Las exposiciones a SCR de los trabajadores del área de trituración fueron más altas que el PEL de OSHA incluso cuando se utilizaron los respiradores de cartucho N95 de media cara. Al aplicar controles de ingeniería, un sistema de pulverización de agua en las máquinas de trituración, se observó la reducción de los niveles de concentración por debajo del PEL de OSHA. El monitoreo del polvo en tiempo real durante la demolición indicó exposiciones muy altas a corto plazo. Concluyendo que el controlar y/o reducir la exposición a sílice cristalina, en el área de trituración, a niveles más bajos que el PEL de OSHA de  $50 \mu\text{g} / \text{m}^3$  sigue siendo un desafío. Comprobándose que incluso con el uso de controles de supresión de polvo, se puede requerir adicionalmente protección respiratoria para diversas tareas.

Batallanos Guevara (2018) estudio las secuelas ocasionadas a la salud por exposición a polvo de sílice cristalina respirable (SCR), evaluando a 42 trabajadores de una unidad de chancado de mineral en Moquegua. Este trabajo fue de tipo aplicado y de nivel descriptivo; comparando los datos generados en la investigación con datos proyectados. Como factor influyente se tomó en cuenta la falla de uno de los 5 colectores de polvo. Para evaluar esta consecuencia, primero se midió la concentración del polvo respirable con contenido SCR, con los 5 colectores encendidos; y posteriormente se realizó otro monitoreo solo con 4 colectores encendidos. En la interpretación del análisis causa-efecto para los dos niveles

encontrados, se obtuvo que, si la acumulación de polvo de SCR se acrecienta de la misma manera lo harían las manifestaciones clínicas relacionadas a la exposición del contaminante polvo. El autor recomienda como medidas preventivas (controles) para reducir los efectos en la salud de los trabajadores, implementar más colectores de polvo y encapsuladores que reduzcan su concentración.

Jiménez Vargas (2017) propuso controles para minimizar el riesgo de exposición a material particulado (MP) en el Área de Secado de la empresa Agrigloma S.A. a nivel de ingeniería y administrativos. Se realizó una recolección de datos por puestos de trabajo, los mismos que fueron analizados, identificados, valorados y evaluados con la metodología Fine. Esta evaluación permitió encontrar un total de 20 riesgos laborales de los cuales uno tiene el grado de repercusión alto, el riesgo de exposición a material particulado (MP). Para reducir este riesgo se plantearon propuestas de solución enfocadas a modificar equipos, estudios de monitoreos externos, así como a la formación, e implementación de procedimientos administrativos internos, con un costo total de \$11 707,71. Para el estudio económico se tomó en cuenta la consecuencia más drástica de una incapacidad permanente absoluta producida por una enfermedad profesional a un trabajador, lo que le costaría a la empresa \$112 500.00; y realizando el análisis con el indicador costo beneficio se determinó que por cada dólar invertido en prevención existe un retorno de \$9.00 para la empresa. Las recomendaciones más importantes fueron el rediseño, construcción y montaje del sistema técnico "Tuberías-Ciclones-Codos Filtro de Manga", la elaboración de un Reglamento Interno de Seguridad, nombrar un jefe de seguridad y el Programa de Mantenimiento Preventivo.

Góngora González et al., (2019), en una Planta productora de Hidrato de Cal, para aminorar las manifestaciones de polvo, propusieron elaborar un plan de acción ambiental. La propuesta de mejora se realizó a partir de los resultados de muestreos y cuantificación de emisiones de polvo. En relación a la calidad del aire se obtuvo que el 80% estaba

comprometida por la presencia de partículas respirables de gases, fibras y polvo de sílice, sobrepasando los límites máximos permisibles ocupacionales y ambientales. A partir de estos factores de riesgos se propuso un Plan de Acción con las siguientes medidas preventivas, realizar en húmedo las actividades de corte y trituración de piedra, encerramiento de puntos de emisión, pavimentación de vías, uso de mallas para cubrir las cargas durante el transporte, captación de polvo en chimeneas y cercos perimétricos con árboles.

Así mismo; Tejada Ancco, (2018) Implemento un sistema de niebla seca para reducir la concentración de material particulado en el proceso de chancado en la Unidad Minera Belén ubicada al sur del país, la que registró impactos ambientales negativos por excesivas exposiciones de material particulado a la atmósfera. En el diagnóstico encontró que la empresa minera no contaba con controles de ingeniería para reducir emisiones durante la descarga y chancado; por lo que se enfocó en reducir los riesgos ocupacionales e impactos ambientales negativos, suprimiendo la fuente generadora de polvo, a través de la aspersión de niebla seca, este sistema emplea agua y aire a presiones determinadas. Los resultados del monitoreo final de la implementación del sistema propuesto, evidenciaron que es un control de ingeniería eficaz y adecuado que no compromete la operatividad de los procesos productivos, a si mismo no hay afectación del producto final.

## **2.2. Marco Conceptual**

### **2.2.1. Afección a la Salud por Exposición al Polvo**

Los efectos están determinados por la composición mineralógica, toxicidad de los minerales y tamaños de las partículas (Castañega Coll & Yataco Medina, 1963).

#### **2.2.1.1. Contaminante Polvo.**

El polvo es un contaminante primario atmosférico diverso, compuesto por pequeñas partículas sólidas que al estar en suspensión pueden ser absorbidas y desencadenar consecuencias adversas en la salud de las personas expuestas. Para identificar los

posibles efectos en la salud humana, es suficiente saber la composición del material que lo origina y/o el proceso del que provienen las emisiones, en las cuales se pueden encontrar agentes que tengan relación de causa-efecto con las enfermedades ocupacionales listadas en la NTS N°068 - MINSA/DGSP - V.1 MINSA (2010). Generalmente en las industrias de construcción y minería, se originan de procesos de desintegración mecánica. (Instituto Sindical de Trabajo Ambiente y Salud, 2007; DKV Seguros, 2010)

Por el tipo y el tamaño de las partículas, puede determinarse la gravedad de los efectos en la salud. Asimismo debe considerarse el riesgo de exposición a polvo aumenta por factores asociados a la actividad los que provocan un incremento de la respiración de los trabajadores (calor, esfuerzo físico, estrés, etc.) al igual que en los puestos de trabajo donde se generen gases, humos y vapores los riesgos serán exponenciales debido a que estas emisiones se impregnarán en las partículas de polvo de fracción respirable (Instituto Sindical de Trabajo Ambiente y Salud, 2007).

#### **2.2.1.2. Polvo en Actividades Mineras.**

El polvo es un contaminante característico de las operaciones mineras y plantas de beneficio, el que es generado por gestión mecánica en las actividades de perforación, voladura, transporte, chancado de mineral, trituración, molienda, clasificación y caminos de rodadura. Estas operaciones son fuentes primarias de partículas finas con alto contenido SCR, debido a la abundancia del silicio en la tierra de donde proceden los minerales metálicos y no metálicos. (Castañega Coll & Yataco Medina, 1963)

Este polvo representa una fuerte amenaza para la higiene ocupacional y el medio ambiente, ya que su inhalación da lugar a enfermedades como la neumoconiosis u otras afecciones a la salud de los mineros.

#### **2.2.1.3. Determinación del Riesgo por Exposición a Polvo**

La legislación y los organismos encargados de la Seguridad y Salud en el trabajo, determinan que todo tipo de polvo generado en minas, túneles y canteras debe considerarse como un peligro para la salud. (Oficina Internacional del Trabajo, 1965)

Para eliminar el peligro, la OIT (1965) recomienda estudiar las operaciones mineras para medir la cantidad de polvo producido y comprender las características de las partículas suspendidas. Para ello, se deben estudiar las particularidades físicas y químicas de estas partículas, la posible acumulación de polvo y duración de la exposición de los trabajadores. Si este estudio preliminar muestra que la exposición es peligrosa, se debe evaluar técnicamente la generación de polvo en todas las etapas de la minería, desde la extracción del mineral hasta la disposición final del mineral. Para la realización de estos estudios, se sugiere establecer un procedimiento de muestreo que permita comprender la cantidad y la naturaleza del polvo que los trabajadores inhalan y retienen en el sistema respiratorio durante su período de trabajo.

Los datos a obtener, del polvo en suspensión, en el ambiente de trabajo son:

- a. La concentración de polvo;
- b. Características del polvo; tamaño de partículas, composición mineralógica (clase de polvo en suspensión)

#### **2.2.1.4. Sílice Cristalina en la Industria.**

El elemento básico de la superficie terrestre es el dióxido de silicio es, se encuentra mayormente como cuarzo en su forma de sílice cristalina, es un componente importante de minerales no metálicos (rocas, tierra, granito y arena) en los siguientes porcentajes que se muestran en la Tabla 1:

**Tabla 1** *Concentración de Sílice en Minerales*

Material	Concentración SiO <sub>2</sub>
Arcillas Plásticas	5% - 50%
Basalto	Menor o igual al 5%
Diatomea natural	5% - 30%
Pedernal	Superior al 90%
Granito	Menor o igual al 30%
Piedra triturada	Mayor al 80%
Piedra Arenisca	Superior al 90%
Hierro	7-15%
Cuarcita	Mayor al 95%
Esquisto	4% - 60%
Pizarra	Menor o igual al 40%

Fuente: NTP 890 DEL INSHT (INSHT, 2010)

Las industrias de minerales no metálicos, metálicos, cemento, piedra de cantera y la industria del concreto prefabricado son las que tienen mayor manifestación laboral a las partículas de sílice en fracción respirable. La norma técnica peruana NTS 068 de salud define en que actividades profesionales y puestos de trabajo existen exposiciones a polvo de sílice libre:

**Tabla 2** *Actividades industriales con exposición a polvo de sílice libre*

Agente	Enfermedad profesional:	Principales actividades relacionadas con el agente:
Polvo sílice libre	Silicosis	Trabajos en minería subterránea y a cielo abierto. Tallado y pulido de rocas silíceas, trabajos de canteras. Trabajos en seco de trituración, cribado y manipulación de minerales o rocas. Fabricación de productos cerámicos, fabricación y conservación de los ladrillos refractarios a base de sílice. Fabricación y manutención de abrasivos y de polvos detergentes. Trabajos de desmódelo, desbardado y desarenado en las fundiciones. Trabajos en chorro de arena y esmeril. Industria cerámica. Industria siderometalúrgica. Fabricación de refractarios. Fabricación de abrasivos. Industria del papel. Fabricación de pinturas, plásticos y gomas

Fuente: Extraído del Grupo 04 Enfermedades profesionales causadas por inhalación de sustancias y agentes no comprendidas en otros apartados (NTS N°068 - MINSA/DGSP - V.1)

Asimismo, continúan surgiendo nuevos usos de la sílice que incluye la fabricación, acabado e instalación de mesas de piedra para cocina y fracturación hidráulica en la producción del petróleo y el gas (OSHA, 2012; Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional, 2019)

#### **2.2.1.5. Límites Ocupacionales para la Concentración de Sílice.**

La proporción de sílice libre cristalina en el polvo es uno de los factores importantes en la evaluación y diagnóstico de la prevalencia y progresión de silicosis. Mantener la concentración de este contaminante por debajo de los límites establecidos en los estándares nacionales e internacionales asegura las condiciones para un ambiente saludable. Para lograr este objetivo es importante implementar un procedimiento estandarizado para tomar muestras y monitoreo de agentes químicos (Bello et al., 2019).

El código de reglamentos federales de los Estados Unidos tiene establecido para el PEL OSHA (Limite de Exposición Permisible) un valor límite de 50 µg / m<sup>3</sup> para sílice cristalina o cuarzo en el ambiente de trabajo, que es la cantidad límite a la que un empleado puede encontrarse en exhibición durante un período de 8 horas de trabajo. El “límite de exposición admisible 2016” se calcula con la fórmula:

$$\text{Límite de exposición admisible} = \frac{10}{(\% \text{ de sílice}) + 2} \leq 0.05 \text{mg/m}^3$$

La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos establece los estándares (valores de referencia) para la protección de la agencia Administradora de la Seguridad y Salud en Minas (MSHA). (MSHA, 2019)

La Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH 2013) ha adoptado un valor límite de umbral (TLV) de 25 ug/m<sup>3</sup> (3M Personal Safety Division, 2015). El criterio de protección recomendado por NIOSH, está basado en las repercusiones de la exposición a la salud de los trabajadores, estableciendo en 1974 un linde de exposición recomendado (REL) 50 µg / m<sup>3</sup> para sílice cristalina respirable en una jornada de trabajo de hasta 10 horas.

El artículo 111° del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional (RSSO) en Minería del Ministerio de Energía y Minas del Perú, DS N° 024-2016-EM, establece una concentración media 3mg/m<sup>3</sup> para el polvo respirable en el ambiente de trabajo durante una jornada de 8 horas. En el artículo precedente del mismo RSSO sugiere evaluar el contaminante utilizando los límites de exposición ocupacional para agentes químicos del ministerio de salud – DIGESA 2005.

DIGESA, establece en el DS N°015 – 2005 – SA, los Valores límites permisibles para evaluación y control frente al riesgo de inhalación de sustancias químicas en los ambientes de trabajo, la norma es de aplicación a nivel nacional. En esta norma se establece un valor de referencia para la concentración de sílice libre cristalina en su forma más común (N° CAS 1408-60-7); TLV-TWA de 0.05 mg/m<sup>3</sup> de cuarzo en fracción respirable valor que es

similar al establecido por OSHA. (Ministerio de Salud. Dirección General de Salud Ambiental, 2006)

En muchos países los parámetros de exposición actuales para la sílice cristalina pueden ser insuficientes para resguardar a las personas de las defunciones por afecciones cardíacas. (Liu, 2014)

#### **2.2.1.6. Evaluación Cuantitativa**

La valoración del riesgo por exposición a polvo tiene como fin establecer la relación entre el contaminante respirable y los efectos que producen en la salud.

OSHA en su estándar 1926.1153(d)(2) y el DS N° 594/1999 del MINSAL, Chile, establecen que ante la presencia de fuentes de sílice o aun cuando exista una posible exposición sílice cristalina respirable, se deben realizar mediciones de exposición TWA de 8hr de tipo personal y representativa del ambiente de trabajo. Las muestras de polvo obtenidas de ambas mediciones deben compararse con los valores límites de referencia. Para lograr este objetivo se utilizan guías y métodos de evaluación propuestas por la normativa minera nacional e internacional.

En la evaluación del riesgo por exposición polvo de SCR, las variables a considerar serán la concentración ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) de sílice libre en fracción respirable y la concentración de polvo en fracción respirable ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ). La muestra debe ser representativa para el riesgo al que están propensos los operarios, será tomada en el tiempo que dure la jornada de trabajo, cuando exista una concentración excesiva de polvo capaz de saturar el equipo se reducirá el tiempo de muestreo. (ITC 2.0.02)

El primer instrumento para la toma muestras será un clasificador de partículas con una bomba de aspiración y un filtro de cloruro de polivinilo (PVC). También se puede optar por un equipo compuesto por una bomba de muestreo portátil conectado con una manguera a un cabezal de muestreo (ciclón y porta filtro).

**Figura 1** Bomba de muestreo de flujo constante, Calibrador, manguera de conexión, ciclón, medio filtrante, soporte de filtro.



Fuente: (Hisga Ingeniería S.A.S, 2021).

Los filtros de PVC están especificados por ASTM, NIOSH y OSHA en aplicaciones de monitoreo de aire para analizar sílice, negro de humo, metales, partículas de cuarzo y otros. Los Filtros compuestos de PVC (5.0  $\mu\text{m}$ ) son para fines médicos y exclusivos para aplicaciones de monitoreo en aire con partículas de sílice, carbón o cuarzo y metales.

#### **2.2.1.7. Métodos de Análisis.**

El estudio de las muestras recolectadas se puede realizar bajo los sucesivos métodos normados por OSHA (2019) que garantizan la calidad del estudio: OSHA ID-142; NMAM 7500; NMAM 7602; NMAM 7603; MSHA P-2; o MSHA P-7.

La NTP-ISO/IEC 17025:2006 y la Dirección de Acreditación del INACAL del Perú establecen que es importante que el laboratorio tenga implementado un programa de control de calidad interno para evaluar la incertidumbre analítica y proporcionar estimaciones de muestreo y error analítico, también es importante que cuenten con estándares para la calibración del instrumento.

La norma OSHA 1926.1153 en su apéndice A, Methods of Sample Analysis; especifica los procedimientos para analizar muestras de aire en busca de sílice cristalina respirable, así como las operaciones de control de calidad que deben asegurar los laboratorios.

#### **2.2.1.8. Evaluación Cualitativa.**

El protocolo de vigilancia del Ministerio de Salud (2015) de Chile establece que cuando no se puede obtener valores de los niveles de concentración, se considera que en todo puestos de trabajo, especificado en la Tabla 2 (Actividades industriales con exposición a polvo de sílice libre), en el cual el 30% del total de horas de trabajo semanal o de las horas de trabajo de un turno supere el tiempo de permanencia, o cuando existan actividades que generen exposiciones agudas como la Operación de trituradoras de piedra; desbaste, corte y pulido de rocas y otras operaciones en seco. Cuando exista una de las dos condiciones anteriores, el Ministerio de Salud (2015) de Chile determina que la exposición implica un riesgo para la salud, por lo que, se requerirá una oportuna y eficaz adopción de medidas preventivas de nivel de ingeniería y/o administrativo, y de protección personal ante un riesgo residual.

#### **2.2.1.9. Neumoconiosis.**

Son todas las afecciones a los pulmones provocadas por la inhalación de polvo, que logra almacenarse en los tejidos de los pulmones cuando los mecanismos de defensa no logran retener las partículas de menos de 5 µm. Según Castañega Coll & Yataco Medina (1963) la naturaleza y la cantidad de polvo que se almacena en los tejidos pulmonares, la neumoconiosis puede clasificarse por producir o no reacciones fibróticas.

- a) No produce fibrosis pulmonar ni incapacidad; siderosis, antracosis, estenosis, baritosis y talcosis, que trascienden de la exposición e inhalación de polvos de hierro, carbón, estaño, baritina y talco, respectivamente. Sin embargo, si estos minerales contienen cuarzo incluso en cantidades pequeñas, pueden provocar silicosis o acelerar el desarrollo de la silicosis, porque se fijarán en los pulmones se

acumularán y actuarán como catalizadores. (Oficina Internacional del Trabajo, 1965)

- b) Produce fibrosis pulmonar Polvos que producen fibrosis pulmonar o cáncer según National Toxicology Program (2016); Silicosis y asbestosis, enfermedades ocupacionales, producidas por la inhalación de polvos compuestos de sílice cristalina respirable (SCR), compuestos de níquel, arsénico, asbesto, etc.

#### **2.2.1.10. Mecanismo Fisiopatológico.**

Cada parte del sistema respiratorio tiene un sistema de defensa capaz de retener las partículas de polvo inhaladas. Las partículas gruesas (>10 µm) generalmente quedan atrapadas en la nariz o la garganta, sin embargo, algunas llegan hasta las secreciones mucosas de la tráquea y los bronquios. Estas partículas retenidas son empujadas continuamente hacia arriba por múltiples filamentos o cilios vibrantes, y avanzan a una velocidad de algo más de 1 cm/min hasta lograr su expulsión. Las partículas más pequeñas (en su mayoría <5 µm) pueden alcanzar los alvéolos. El mecanismo de defensa de los alvéolos pulmonares está constituido por células con la capacidad de absorber materias extrañas, llamadas fagocitos móviles, estas al llenarse de partículas ingresan a los bronquios y son expulsadas por los cilios. Sin embargo, si los fagocitos no absorben estas partículas, las partículas atravesarán la pared alveolar y permanecerán en el tejido pulmonar. En este caso, estas partículas ingresarán al sistema linfático y llegarán a los ganglios linfáticos, que actúan como filtros y retienen Mucho polvo. (Ministerio de Sanidad, 2020; Oficina Internacional del Trabajo, 1965)

La intensidad de partículas con capacidad de ingresar a los alveolos pulmonares, está directamente relacionado con el riesgo de padecer afecciones respiratorias y cardíacas o la probabilidad de una muerte prematura si el trabajador padece de estas enfermedades, las partículas menores de 10 micrómetros además de llegar a los pulmones también pueden alcanzar el torrente sanguíneo, los estudios científicos vinculan la exposición a la contaminación con partículas a: la reducción de la función pulmonar, asma o agravante del

asma, enfermedades cardíacas, riesgo de infartos de miocardio no fatales, irritación de las vías respiratorias y el aumento de otros síntomas respiratorios (United States Environmental Protection Agency, 2019).

#### **2.2.1.11. Diagnóstico de Silicosis**

La silicosis es una afección pulmonar fibrótica irreversible, incapacitante y a veces mortal generada por exposiciones repetidas a polvo con altas concentraciones de sílice, las partículas de sílice se depositan en las cavidades pulmonares generando la inflamación y fibrosis de los tejidos pulmonares, disminuyendo la capacidad de la función pulmonar del individuo. Adicional al riesgo de silicosis, NIOSH ha identificado que, los trabajadores expuestos a este contaminante tienen altas probabilidades de desarrollar el cáncer de pulmón, tuberculosis pulmonar, EPOC, enfermedades autoinmunitarias, enfermedades de las vías respiratorias y del riñón.

Para diagnosticar y evaluar a los trabajadores expuestos, se debe considerar los conocimientos de los profesionales involucrados en la prevención. La Guía Práctica Clínica Meléndez Rascón et al., (2009) recomienda al:

##### ***Ingeniero de Seguridad o medico ocupacional***

- Revisar el Historial ocupacional o antecedentes de exposición de inhalación de contaminantes químicos que afecten el sistema respiratorio (gases, vapores y polvos), verificar si el tiempo de exposición es suficiente para desarrollar la enfermedad.
- Cuestionario respiratorio para evaluar síntomas de enfermedad respiratoria (por ejemplo, dificultad para respirar, tos, sibilancias); historia de tuberculosis; y estado e historia de fumador. Este criterio es parte de la historia ocupacional, si algún documento o registro ocupacional nos la brinda, no es necesario aplicar el cuestionario.

##### ***Medico Ocupacional o Empresas de Servicios de Salud Ocupacional***

- Radiografía torácica para hallazgos característicos de la exposición; La radiografía de tórax es necesaria para diagnosticar la silicosis, controlar la progresión de la silicosis

e identificar afecciones asociadas, como la tuberculosis". (Department of Labor and Economic Opportunity, 2019)

- Espirometría y examen físico; es una prueba complementaria específica y obligatoria para la actividad minera, debe incluir la capacidad vital forzada (FVC), el volumen espiratorio forzado en un segundo (FEV1) y la relación FEV1 / FVC.
- Descarte mediante diagnósticos diferenciales.
- La silicosis se presenta en tres formas, las pruebas para diagnosticar cualquier tipo de silicosis presentaran resultados específicos según a la progresión de la enfermedad, OSHA en ha definido los resultados y síntomas de alerta en cada diagnóstico (Department of Labor and Economic Opportunity, 2019).

#### **2.2.1.12. Diagnóstico de Silicosis Crónica.**

La silicosis crónica, simple o fibrosis masivas progresivas es la presentación más común de silicosis, se requiere de un tiempo suficiente de 10 años para presentar insuficiencia respiratoria, insuficiencia respiratoria crónica y pulmonar (insuficiencia cardiaca), en las radiografías de tórax, frecuentemente aparece después de haber cesado la exposición".

Síntomas: dificultad para respirar y tos, aunque los empleados pueden no notar ningún síntoma temprano en la enfermedad. La sintomatología constitucional; fiebre, disminución del apetito y fatiga, pueden indicar otras enfermedades asociadas con la exposición a la sílice, como la infección por TB o el cáncer de pulmón. (Department of Labor and Economic Opportunity, 2019; Ministerio de Sanidad, 2020)

De acuerdo con Meléndez Rascón et al., (2009) en la Guía Práctica Clínica para el diagnóstico de la silicosis se debe tomar en cuenta;

**El examen físico:** para revelar estertores secos o roncós en la auscultación pulmonar.

**La espirometría:** puede ser normal o mostrar solo un patrón leve restrictivo u obstructivo.

**Radiografía de tórax;** con hallazgos de opacidades pequeñas y redondeadas en los campos pulmonares superiores bilateralmente. Sin embargo, también pueden ocurrir pequeñas opacidades irregulares y opacidades en otras áreas pulmonares. En raras

ocasiones, se observan "calcificaciones de cáscara de huevo" en los ganglios linfáticos hiliares y mediastínicos.

#### **2.2.1.13. Diagnóstico de Silicosis Acelerada.**

La silicosis acelerada generalmente requiere de un tiempo suficiente de 5-10 años posteriores a la exposición y es el resultado de altos niveles de exposición. La presentación clínica de la silicosis acelerada es:

- Manifestaciones de Síntomas: falta de aliento, tos crónica con producción de esputo en ocasiones. Los empleados con exposición a sílice cristalina respirable, y especialmente aquellos con silicosis acelerada, tienen un alto riesgo de activación de infecciones de TB, infecciones micro bacterianas atípica, infecciones fúngicas y cáncer de pulmón. Este riesgo es alertado por síntomas constitucionales, como fiebre, reducción de peso, tos con sangre (hemoptisis) y fatiga pueden.
- El Examen físico muestra: Hallazgos pulmonares anormales en relación con las enfermedades presentes. El golpeteo de los dedos, signos de insuficiencia cardíaca y cor pulmonale pueden estar presentes en la enfermedad pulmonar grave. La espirometría es restrictiva o de patrón restrictivo / obstructivo mixto.

La Radiografía torácica: muestra opacidades redondeadas y / o irregulares pequeñas bilateralmente. Las opacidades grandes y los abscesos pulmonares pueden indicar infecciones, cáncer de pulmón o progresión a silicosis complicada, también denominada fibrosis masiva progresiva (Department of Labor and Economic Opportunity, 2019; Ministerio de Sanidad, 2020).

#### **2.2.1.14. Diagnóstico de Silicosis Aguda.**

Michigan OSHA (2019) argumenta que la silicosis aguda es la manifestación menos común de la enfermedad, es potencialmente mortal, causada por la inhalación de niveles extremadamente altos de partículas de sílice cristalinas respirables, requiere de tan solo de pocos meses a 2 años de exposición. El diagnóstico tiene similitud con la proteinosis alveolar por la acumulación líquido proteico dentro de los alvéolos.

De acuerdo con el Ministerio de Sanidad (2020) y Michigan OSHA (2019), la presentación clínica de la silicosis aguda es la siguiente:

Sintomáticamente: existe dificultad para respirar, frecuentemente existe fiebre, pérdida de peso, fatiga, tos, hemoptisis y dolor torácico pleurítico.

Problemas físicos: disnea en reposo, cianosis, disminución de los sonidos respiratorios, estertores inspiratorios, aporreo de los dedos y fiebre. La Espirometría es restrictiva o patrón restrictivo / obstructivo mixto.

En la Radiografía de tórax se presenta lesiones difusas en los lóbulos pulmonares bilateralmente temprano en la enfermedad. A medida que la enfermedad progresa, se exhibirá una apariencia de "vidrio esmerilado" de la fibrosis intersticial.

Cualquier caso de silicosis indica un colapso en la prevención, un caso de silicosis aguda o acelerada implica un nivel profundamente alto de exposición a sílice y puede significar que otros empleados están actualmente expuestos a niveles peligrosos de sílice (Department of Labor and Economic Opportunity, 2019).

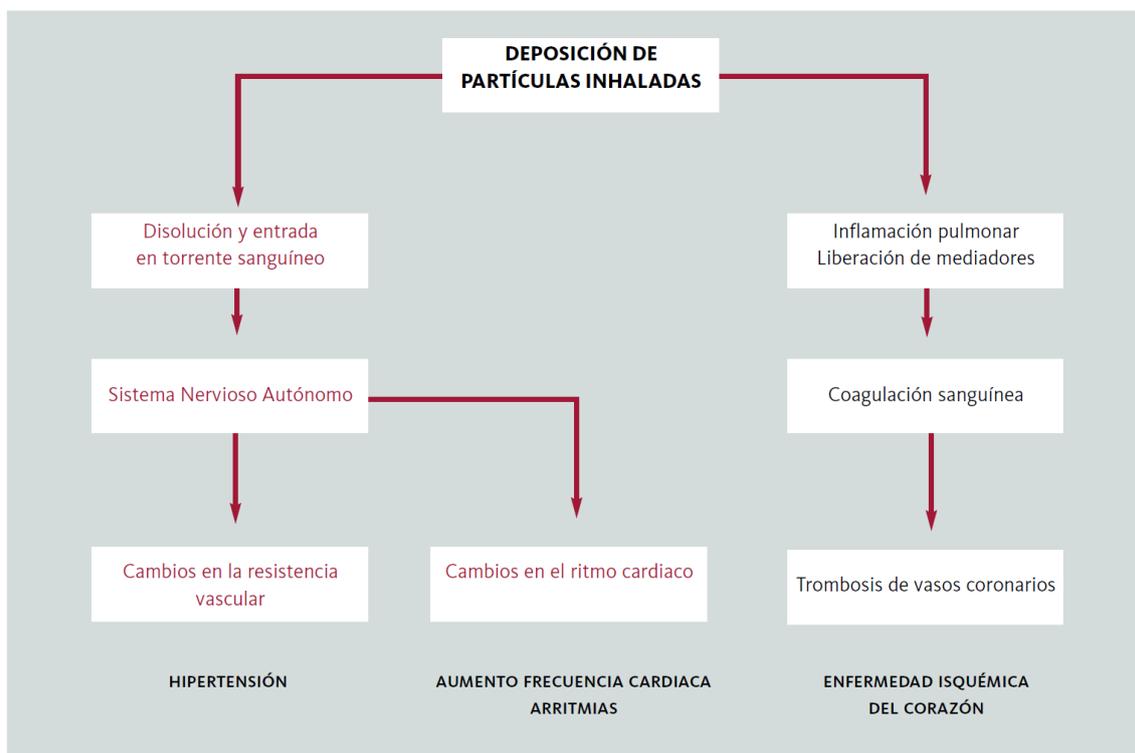
#### **2.2.1.15. Factores de Riesgo**

Son condiciones demográficas, ocupacionales y de salud existentes en el grupo de trabajo que, junto a ambientes contaminados con polvo de sílice, incrementa el riesgo de padecer afecciones a la salud. Entre ellos se encuentran: los que padecen enfermedades cardiovasculares; asma; EPOC; rinitis alérgica; enfermedad pulmonar ocupacional; hipertensión pulmonar; fumar; trabajos en espacios poco ventilados y laboran en ambientes con excesiva contaminación (minería subterránea, construcción de sótanos). (DKV Seguros, 2010a; Ferrari Goelze et al., 1998)

La EPOC, incluida la bronquitis crónica y el enfisema, son factores de riesgos que se han documentado en empleados expuestos a sílice, incluidos aquellos que no desarrollan silicosis. Para su identificación se realizan pruebas periódicas de espirometría para evaluar a cada empleado en busca de cambios progresivos consistentes con el desarrollo de EPOC.

La enfermedad cardíaca puede desarrollarse secundaria a las enfermedades pulmonares. El estudio de cohorte, (Liu et al., 2014) realizado a 42572 trabajadores chinos expuestos potencialmente a sílice libre, estimó una relación positiva de exposición – respuesta para la mortalidad por enfermedad cardíaca y enfermedad cardíaca pulmonar, esta investigación concluye que mientras más alto es el nivel de concentración, aumenta la mortalidad por enfermedad cardíaca pulmonar.

**Figura 2** Relación de la contaminación por partículas y las enfermedades cardíacas



Fuente: (DKV Seguros, 2010a)

Las partículas suspendidas en el aire inducen la activación de determinados mediadores, provocando un aumento de la coagulabilidad de la sangre. Distintos mecanismos estudiados tienen relación con el control autónomo del corazón, que exhibe una analogía significativa entre partículas e incremento de la frecuencia cardíaca y reducción de la variabilidad de la frecuencia cardíaca. Asimismo, se encontró una correlación entre la exposición a partículas y la hipertensión arterial. Cada vez más estudios apoyan la

presunción de que la constitución de partículas ultrafinas y su implicación en metales de transición pueden exponer su toxicidad en el sistema cardiovascular. (DKV Seguros, 2010a)

La exposición a la sílice se ha asociado a enfermedades en el Sistema renal e inmunitario, incluida la glomerulonefritis, el síndrome nefrótico y la enfermedad renal en etapa terminal que requiere diálisis. La exposición a la sílice también se ha asociado con afecciones autoinmunes, como la esclerosis sistémica progresiva, el lupus eritematoso sistémico y la artritis reumatoide. Los estudios señalan que existe una asociación entre empleados con silicosis y marcadores séricos para enfermedades autoinmunes, incluidos anticuerpos antinucleares, factor reumatoide y complejos inmunes (MIOSHA, 2019).

MIOSHA en Department of Labor and Economic Opportunity (2019) determina que los empleados expuestos a sílice con tuberculosis latente son propensos a un promedio de 30 veces más posibilidades de manifestar una infección activa de tuberculosis pulmonar (Bello et al., 2019). La exposición respirable a la sílice cristalina no causa la infección, las personas con la enfermedad latente tienen un mayor riesgo de activación de la enfermedad cuando existan altos niveles de exposición respirable a la sílice cristalina, si es que a través de una radiografía o diagnóstico se ha detectado una profusión de anomalías.

Otra afección pulmonar que se ha definido por relación a la exposición de polvo silicio es desde el año dos mil el Cáncer de pulmón, el Programa Nacional de Toxicología ha incluido como un carcinógeno humano a la sílice cristalina respirable la cual desde el año 2000 es conocida. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC 2012) también ha clasificado la sílice en el Grupo 1, agente cancerígeno para los humanos. Para la prevención de cáncer de pulmón es necesario tomar medidas administrativas y tener más control de la población de fumadores y otros trabajadores que estén expuestos dentro de la empresa a humos cancerígenos (Eje. soldadura).

#### **2.2.1.16. Cuestionarios estandarizados para evaluar afecciones respiratorias.**

Son útiles para la evaluación de síntomas respiratorios y síntomas cardinales (tos, sibilancias y disnea) que se desarrollan por enfermedades pulmonares y lesiones en el

tracto respiratorio en trabajadores expuestos a la inhalación de agentes contaminantes. Detectan trabajadores con asma, enfermedades pulmonares y fumadores de cigarrillos. Han sido necesarios para obtener información estandarizada de la salud de los trabajadores, cuando no es posible el acceso a la historia clínica y exámenes médicos ocupacionales. Desde la década de los 50 en el reino unido han demostrado ser efectivos en estudios de investigación para neumoconiosis de los mineros de carbón, EPOC y morbilidad respiratoria. (Barr et al., 2008)

En el estándar 1910.1001 App D OSHA establece la obligación de aplicar cuestionarios médicos a todos los trabajadores que se encuentran en exposición al asbesto superando el límite de exposición permitido, como parte del programa de vigilancia médica. Contiene dos cuestionarios: Cuestionario médico inicial y Cuestionario médico periódico abreviado. Otro cuestionario médico obligatorio es el “Cuestionario de evaluación médica respiratoria” para establecer la protección respiratoria adecuada, de acuerdo con la vulnerabilidad encontrada.

La red de profesionales de Salud, Seguridad e Higiene Industrial de la empresa Maquiladora Health & Safety Support Network realizaron un cuestionario de salud respiratoria en la Mina de Cobre Cananea, del Grupo México, realizado en base a un cuestionario estandarizado – Ferris 1978 por un médico ocupacional. Este estudio reporto un número considerable de mineros con los siguientes síntomas: tos, tos con producción de esputo con tendencia a bronquitis crónica, sibilancias, y disnea. Los síntomas son característicos de enfermedades respiratorias relacionadas con la exposición a los cuantiosos niveles de sílice respirable en la mina, APHA define que la Silicosis es un padecimiento caracterizado clínicamente por disnea, reducción de la expansión torácica y disminución de la capacidad para el trabajo (Barr et al., 2008).

### **2.2.2. Medidas de Prevención.**

De la información obtenida de la determinación del riesgo, se establecen y proponen en función al requerimiento de la normativa y de la valoración de su eficacia, medidas preventivas y correctivas.

Cuando es evidente que existen niveles de exposición que superan los Límites Máximos Permisibles es necesario diseñar y proponer estas estrategias de control operacional en SST que logren la exclusión de los peligros y la disminución de los riesgos a niveles mínimos permisibles; el encargado de la actividad minera en razón del cumplimiento del RSSO, DS N° 024-2016-EM, la jerarquía de controles se deberá seguir de la siguiente manera:

- a. Eliminación de Peligros: son todas las medidas dirigidas a eliminar actividades, fuentes o procesos que puedan causar un accidente de trabajo o desarrollar enfermedades ocupacionales.
- b. Sustitución de Peligros; es el cambio a factores de trabajo mejor estandarizados.
- c. Controles de ingeniería; considerado también Reorganización del trabajo en la norma ISO 45001:2018. Es el uso y aplicación de tecnologías de punta, diseño de infraestructura, métodos de trabajo, selección de equipos, aislamientos o barreras para mitigar o desviar la exposición al riesgo.
- d. Controles administrativos, señalización y Formación; son todas las medidas dirigidas a proporcionar conocimientos para realizar actividades de manera correcta, evitando acciones que puedan exponer la salud de las persona a riesgos o prácticas que puedan causar accidentes. Las medidas que se pueden implementar en este nivel son la gestión de programas de capacitación, planes para la vigilancia de la salud de los trabajadores, planes y estándares de Salud Ocupacional. También se incluye los procesos y estándares para la

coordinación de la seguridad con subcontratas, clientes, proveedores y socios de la organización.

- e. Equipo de protección personal (EPP); es la indumentaria adecuada para el tipo de actividad que se desarrolla, proporciona una barrera de protección a las partes del cuerpo y órganos susceptibles frente exposiciones y peligros.

Para lograr eliminar peligros y minimizar riesgos es usual implementar medidas combinando los distintos niveles de protección.

### **2.2.2.1. Controles de Ingeniería para Mitigar Emisiones de Polvo**

#### ***Control de Polvo por Niebla Seca***

La niebla seca se forma a partir de la confluencia entre agua y aire, considerada un tipo de aerosol, comúnmente se le otorga dicho nombre debido a que posee una cantidad de agua reducida que, con las presiones apropiadas de agua y aire, no mojará el material, ni creará lodos, obstrucciones o daños a los equipos o al proceso por apiñamiento del material. La energía para generarla consiste únicamente en aire comprimido, por lo que no se necesita de químico alguno para su funcionamiento (Comercial aralco, 2012).

Asimismo, en la calidad de la niebla seca la consistencia del agua no influye, aunque el líquido debe estar libre de materia en suspensión (Comercial aralco, 2012).

La niebla seca está conformada por millones de gotas submicrónicas que chocan con las partículas de polvo en suspensión, de tal manera que al acumularse forman una partícula más pesada que se precipita en la parte inferior del dispositivo, impidiendo que vuelva a subir. La gota microscópica se evapora y el material permanece seco.

#### ***Funcionamiento del Sistema de Aspersión por Niebla Seca:***

***Boquilla de atomización:*** La boquilla atomizadora consta de un oscilador de ondas sonoras. Cuando el líquido pasa a través del campo de ondas acústicas de alta frecuencia, el oscilador atomizará el líquido. En el campo de ondas sonoras, el aire se acelera a una velocidad superior a la del sonido dentro de una sección de convergencia/divergencia, para después rebotar terminando por amplificar y complementar la onda de choque. Cualquier

líquido que pase a través de la onda de choque se atomizará en gotas muy sutiles, el aire transporta como un aerosol de baja velocidad a las gotas atomizadas. Los vastos orificios de la boquilla y la baja presión de fluido pueden evitar el deterioro y extender la vida útil de la boquilla. La mayor preeminencia de las boquillas atomizadoras de aire y agua es que pueden proporcionar una calidad de atomización constante en una amplia gama de flujo.

La boquilla atomizadora produce una densa nube de gotas muy sutiles que ocupan el espacio de aire libre dentro del área cerrada. De tal manera, dado que el polvo no puede ocupar el mismo espacio que la niebla, éste no se dispersará. Si el polvo se disipa, chocará con finas gotas de agua; para que dicha colisión pueda concretarse, las gotas de agua deben ser tan pequeñas como partículas de polvo. Las partículas de polvo se acumulan para formar partículas más grandes y pesadas, que se depositan en la banda. Con lo anterior, se descarta el problema de la manipulación del polvo y/o el tratamiento del agua. Las boquillas utilizadas en el sistema están atomizadas con aire comprimido. Con este diseño, se originan gotas tan pequeñas como 1 micra, por lo que no mojarán el producto, eliminando así el problema de generación de lodos.

El sistema no se vale de la utilización de insumos químicos ni tensoactivos alguno, por lo que no dañará el equipo ni el proceso. La niebla seca no produce lodos y se puede regular el consumo de agua y de aire. Es tan minúsculo el tamaño de la gota (menos de 1 micrón) que se vaporizará a una temperatura de -30°C, seguidamente a la atomización, una gota de agua ocupará un metro cúbico de espacio.

### ***Ventajas de los sistemas por niebla seca***

Un sistema íntegro de eliminación de polvo por niebla seca incluye confinamientos herméticamente sellados, boquilla atomizadora montada con reguladores de aire y agua, fuente de aire comprimido, suministro de agua, válvula de apertura y cierre automática, filtro de agua y controles de operación automática. Tanto los costos iniciales, de operación como de mantenimiento del sistema, son reducidos a comparación del que utiliza ventiladores. A diferencia del uso de tuberías grandes y pesadas, este sistema requiere un

diámetro de tubería menor y utiliza una media del 5% de la energía total de los sistemas de ventilación convencionales. Además, el coste de instalación representa el 40% del costo de cada sistema colector de polvo de tela, contando con las siguientes ventajas:

- No requiere reactivos químicos.
- La humedad añadida al producto es inferior al 0,1%.
- Su instalación requiere modificaciones mínimas al sistema actual.
- Bajo mantenimiento.
- Funciona con baja presión de agua y baja presión de aire.
- Cada boquilla consume de 1 a 40 litros de agua por hora, según el modelo.

### ***Emulsiones Bituminosas para Polvo Fugitivo en Caminos.***

Considerando que el polvo puede dañar la superficie y vida de la vía, acelerar su erosión y crear un ambiente contaminado que afecte la salud humana y áreas de influencia, es necesario evaluar varios métodos para reducir la contaminación. El Departamento de Transporte de Wisconsin realizó un estudio el cual mostró que por cada 1,6 kilómetros de vehículos ligeros que circulan todos los días, se genera una tonelada de polvo cada año. La solución a este problema que también se genera en los caminos mineros no siempre está en la pavimentación de vías, en las operaciones mineras, esta medida suele ser poco práctica debido a la nula viabilidad técnico-económica en carreteras de alto tonelaje y la disponibilidad operativa requerida (Rada & Cruz, 2013).

En la Tabla 3 Rada & Cruz (2013) presentan un análisis de diferentes Alternativas de Solución adoptadas en caminos mineros para el control de polvo, comparando su eficacia en el control de polvo, el impacto ambiental (contaminación del suelo) y efecto funcional sobre la operación con otros supresores aplicados en caminos mineros del país.

**Tabla 3** Eficiencia de Supresores para el control de polvo en caminos

TIPO DE SUPRESOR	EFICACIA EN CONTROL DE POLVO	IMPACTO AMBIENTAL	EFFECTO FUNCIONAL SOBRE OPERACIÓN
Agua	50% (2 l/m <sup>2</sup> mes)	Recurso escaso. Lixivia componentes del suelo.	Sobre riego daña neumáticos. Permite circulación inmediata. Genera barro.
Cloruro de Magnesio Hexahidratado (Bischofita)	90%	No forman una capa suficientemente impermeable, dispersando componentes al ambiente que afectan la salinidad del suelo y el pH del agua. Concentración por sobre los 400 ppm es tóxica para ciertas especies de peces, y sobre los 1.830 mg/l es mortal para microorganismos y crustáceos	Requiere un mínimo de 32% de humedad en el ambiente para absorber el agua ambiental. A un tránsito de 600 toneladas esta solución puede durar entre 2 a 6 años (dependiendo de la calidad de los materiales)
- Sika® Dust Seal PE.	84%	Solubilidad en el agua. Reducción de la actividad biológica producto de la decoloración del agua. Biodegradable. Biopolímeros (polisacáridos naturales)	Con baja humedad y alta temperatura es más efectivo que cloruros. Mayoritariamente son higroscópicos. Se lavan con el agua y no impermeabilizan el camino. Se vuelven duros y quebradizos.
Emulsión asfáltica	95%.	Impermeabilizante	Considerado supresor de larga duración. Mancha vehículos durante aplicación. Alta resistencia al rodado y tensión de carga. Reduce ciclos de riego y permite reparación del camino sobre riego.

Fuente: Revista Minería Chilena N°384, (Rada & Cruz, 2013)

Las emulsiones asfálticas, dispersiones en H<sub>2</sub>O glóbulos de asfalto entre dos a cinco micrones ( $\mu\text{m}$ ) de  $\emptyset$ , para que sean solubles se neutralizan con un agente emulsificante jabonoso que se produce mediante el tratamiento de ácidos grasos o resinas con álcalis fuertes (catiónicas) o ácidos minerales sobre compuestos amino (emulsiones aniónicas). La superficie de las bolas de brea contenidas en la emulsión de brea está cargada positiva o negativamente. Por tanto, se producen emulsiones catiónicas o aniónicas (Solà, 2013).

### **Formulación de la Emulsión (solución de jabón)**

Los emulsionantes necesitan ser neutralizados con ácido para generar la forma soluble en agua aniónica o catiónica utilizada para preparar la solución de jabón. La elección del ácido o álcali y el pH final de la emulsión influyen en las propiedades de la emulsión. El ácido clorhídrico y ocasionalmente ácido fosfórico son los ácidos usados, y el hidróxido de sodio y potasio son los álcalis más comunes. Las emulsiones catiónicas son generalmente ácidas, y las emulsiones aniónicas son típicamente alcalinas (Solà, 2013).

#### *- Asfalto*

Producto residual de la destilación no destructiva de petróleo crudo en la refinación del petróleo. El asfalto utilizado en la producción de emulsiones asfálticas generalmente es de la variedad directa (Solà, 2013).

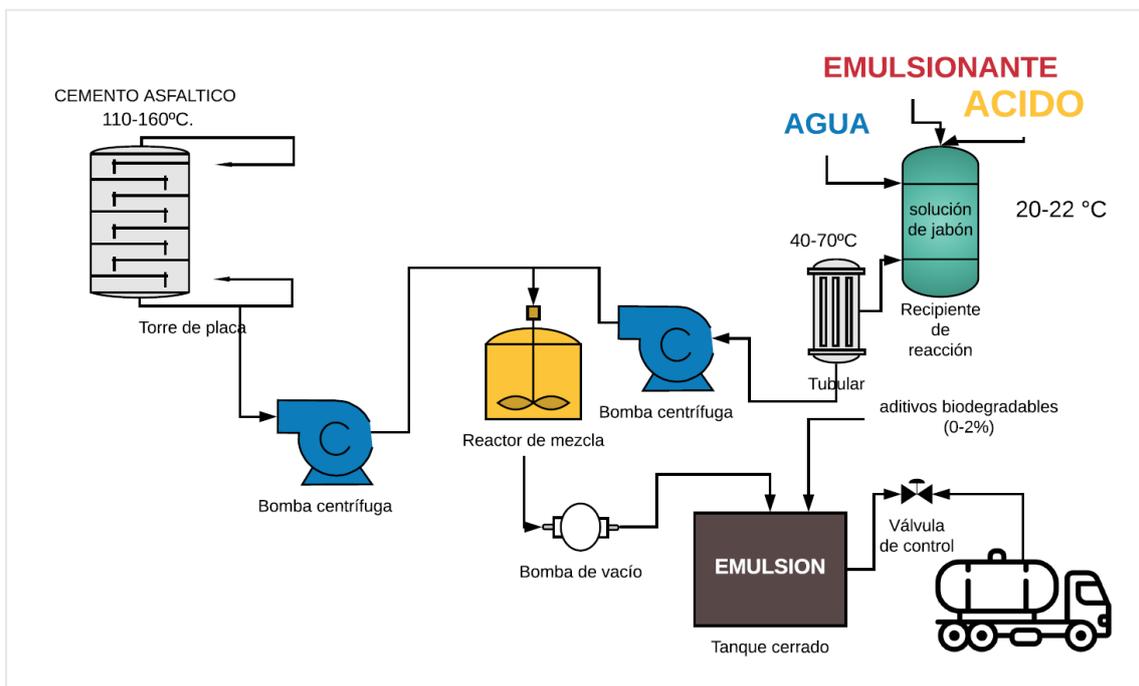
#### *- Ácido*

Como los emulsionantes son insolubles en agua, es necesario convertirlos en sales para disolverlos en la fase de dispersión. Esto generalmente se hace reaccionando con ácido, con mayor frecuencia ácido clorhídrico en una solución de 20°C a 22°C. La dosificación ácida es el factor regulador que determina el pH final de la emulsión (Solà, 2013).

- *Promotores de adhesión*

La entereza al agua es una característica importante de las mezclas y sellos de asfalto. La película curada de algunas emulsiones aniónicas y ocasionalmente también de emulsiones catiónicas puede no tener una adhesión suficiente a los agregados, en cuyo caso pueden añadirse promotores de la adhesión al asfalto o a la emulsión terminada (Solà, 2013).

**Figura 3** Diagrama del proceso de fabricación de emulsiones de asfalto



Fuente: Elaboración propia.

Son altamente resistentes, insolubles en agua y no se evaporan. Por lo general resisten el rodamiento y tienen un punto alto de ruptura, por lo que transfieren la resistencia del sustrato a su superficie. La solución puede mantener encapsulado al contaminante y las vías estables para vehículos ligeros durante más de un año. En determinadas condiciones, la presencia de emulsiones asfálticas, suplementadas con aglomerantes y emulsificantes (agente tensoactivo), es la clave de su eficacia, pues en algunos casos, debido a que no todos los tipos de caminos se pueden compactar de igual forma, puede prevenir la lixiviación del agente asfáltico. Las emulsiones con alto contenido de betún

(> 50%) forman un adhesivo de rodadura de alta resistencia con excelente adherencia y repelencia al agua, evitando que los vehículos derrapen humedad. (Rada & Cruz, 2013)

Según la Tabla 3, la solución bituminosa puede inhibir el 95% del polvo en las carreteras mineras. “Eficacia, impacto ambiental y efecto funcional de supresores de polvo” Publicada por el ministerio de Chile en el informe técnico de supresores de polvo (2013).

### **Tratamientos Superficiales con Emulsiones Asfálticas y Agua**

Esta es una técnica de colocación en frío de varias extensiones ligante asfáltico en la superficie de rodado y junto a uno o más capas de agregados. La continuidad entre asfalto y ligante asfáltico debe ser simultánea o muy directa, porque de ello depende una buena adherencia final entre ambos materiales. Por norma general la distancia entre las dos operaciones no deberá sobrepasar el minuto (una distancia comprendida entre 50 y 100 m). Si los ligantes son viscosos, la separación no superara distancias de 20 a 30 metros. (García et al., 2015; Kröger & Kröger, 2020)

El propósito del tratamiento superficial es formar una película flexible para impermeabilizar el soporte y proporcionar una superficie rodante que garantiza una buena resistencia al deslizamiento, ayudando a mantener la superficie deslizante existente y evitar el ingreso de agua en la capa inferior. Esta aplicación interviene en la capacidad estructural del firme, ya que lo mantiene y lo impermeabiliza, consiguiendo que las mezclas bituminosas existentes en el firme estén protegidas. (García et al., 2015; Kröger & Kröger, 2020)

Los materiales constituyentes de los tratamientos superficiales en gravilla;

- Árido: es uno de los parámetros que más puede afectar el efecto del tratamiento. Proporcionan rugosidad (seguridad), drenaje (durabilidad y seguridad) y ruido.

- Ligante bituminoso: Lo más habitual es utilizar emulsiones bituminosas de rotura rápida con altas concentraciones de ligante residual, cuyos tipos son C69B3 TRG C65B3 o 4TRG y. Del mismo modo, si las condiciones meteorológicas y la intensidad del tráfico lo requieren, se puede utilizar una versión modificada. (Kröger & Kröger, 2020)

La cisterna de riego debe estar dotada de indicadores de nivel y dosificadores que aseguren la dotación obtenida en la fórmula de trabajo. El ligante se esparce en la superficie por medio de rociadores telescópicos para una mejor adaptación a los anchos variables de la vía. (Kröger & Kröger, 2020)(García et al., 2015; Kröger & Kröger, 2020)

### **Aplicación en Caminos Mineros**

#### *Minera los pelambres*

Fue la primera operación minera en Sudamérica en lograr un control efectivo del polvo. En el Informe de Sustentabilidad del año 2011 (pag.50), Minera Los Pelambres dio a conocer los resultados obtenidos del uso de soluciones asfálticas (Dust-A-Side) en 15 km, 450 mil m<sup>2</sup> cuadrados de rampas en áreas mineras y 12 km del acceso industrial. Hasta ahora, el efecto es muy bueno, puede controlar eficazmente más del 90% del polvo (DUST A SIDE, 2021)

#### *Camino de acceso a la minera el Bronce, 2015*

La vía de entrada y salida a Los Bronces que se extiende 30 kilómetros desde Corral Quemado hasta la mina, presentaba características meteorológicas desfavorables que conllevaban a un proceso mantenimiento constante de la carpeta de rodado para el control de la contaminación. Los factores que generaban un alto consumo de agua eran la reconstrucción del camino y el control de la contaminación de polvo (humidificación). Anglo American solicitó que, en respuesta a esta situación especial, se realice una

evaluación económica para seleccionar un mejor método supresión de polvo que disminuyese los costos de reconstrucción de las vías industriales de la mina los Bronces. Esto exigía elegir un control que redujera la frecuencia de regado y los costos en equipos mecánicos y maquinarias. Se comparó y se analizó los supresores de polvo existentes en el mercado chileno, tomando en cuenta su eficiencia, los impactos ambientales y el impacto en la operación, se seleccionó la emulsión asfáltica. Los excelentes resultados que evidencio este supresor de polvo, con respecto al año 2014, son la entrega de caminos mineros libres de contaminante polvo, reduciendo las emisiones de  $PM_{2.5}$  en un 80,3%, mientras que las emisiones de  $PM_{10}$  se redujeron a un 81,7%. En La evaluación del impacto económico que arrojó una utilidad de \$ 429.000 anuales, reduciendo al 17% los gastos en reconstrucción y reducción de la contaminación. (Cavada Vera, 2016).

### **Proceso de Aplicación y Configuración.**

El asfalto emulsionado debe volver a una película de asfalto continuo para actuar como cemento en los materiales de la carretera. Esto involucra la floculación y la coalescencia de las gotitas y la eliminación del agua. La evaporación y absorción de agua por el agregado puede ser el principal mecanismo de ruptura para emulsiones de fraguado muy lento, pero en gran parte de los casos las reacciones químicas entre el agregado y la emulsión contribuyen al ajuste de la emulsión y no es necesario que toda el agua se evapore antes la cura se lleva a cabo.

1. El emulsionante libre se adsorbe en la superficie con carga opuesta.
2. Los minerales neutralizan los ácidos en la emulsión, causando la pérdida de carga en las gotas de la emulsión, lo que conduce primero a la floculación de las gotas de asfalto y luego a una coalescencia más lenta de las gotitas.
3. El agua es absorbida por el mineral, y también se evapora del sistema.

### **2.2.2.2. Controles Administrativos**

Los controles administrativos están dirigidos a establecer e implementar estrategias en el medio de trabajo y en el individuo. (Meléndez Rascón et al., 2009)

#### ***Plan para la vigilancia de la salud y los ambientes de trabajo con presencia de Sílice Cristalina Respirable (SCR)***

En el año 2011, en el marco del Programa Global de Eliminación de la silicosis de OMS/OIT, la Dirección de Salud Ocupacional (DSO) de DIGESA elaboro el Plan Nacional para la Erradicación de la Silicosis en el Perú al 2030, el cual aplica de manera obligatoria en todos los sectores públicos y privados del país.

#### **Vigilancia de los ambientes de trabajo**

Consiste en evaluar periódicamente a través de estudios específicos de Higiene Ocupacional que los niveles de polvo respirable se encuentren por debajo de los Límites de Máximo Permisibles de Exposición Ocupacional para Agentes Químicos cumpliendo con establecido en el DS N° 015-2005-SA. Una oportuna reducción en la exposición disminuirá el riesgo de enfermedad. (Ministerio de Sanidad, 2020)

El DS N° 024-2016- EM, que aprueba el RSSO en Minería, se establece que se efectuarán mediciones periódicas de agentes químicos como polvos en las instalaciones de la planta y en los puestos de trabajo donde se identifiquen la presencia de estas emisiones.

El Protocolo de Vigilancia del Ministerio de Salud (2015), entrega las siguientes directrices para la vigilancia del ambiente de trabajo;

- Evaluación cuantitativa de SCR.
- Protocolo para la recolección de muestras de SCR.
- Controles ingenieriles y administrativos.
- Límites máximos permisibles.
- Frecuencia de las evaluaciones cuantitativas de tipo ambiental y personal.
- Evaluación cualitativa de SCR, en relación al tiempo de exposición y actividad.

## **Vigilancia de la Salud**

El DS N° 024-2016- EM, que aprueba el RSSO en Minería, establece que la prevención de enfermedades respiratorias crónicas relacionadas al trabajo como la silicosis y neumoconiosis, estarán sometidas a las disposiciones que emita la OIT, el MINTRA y el MINSA.

Todas las operaciones de vigilancia a la salud tendrían que estar orientadas principalmente a la prevención y diagnóstico de enfermedades asociadas al SCR. En la prevención de afecciones a la salud, se contempla la difusión de información relacionada a los efectos del contaminante en la salud y el consumo del tabaco, los exámenes medico ocupacionales, protección respiratoria y uso adecuado.

El protocolo chileno de vigilancia de la salud Ministerio de Salud (2015) y el protocolo español de vigilancia sanitaria para silicosis Ministerio de Sanidad (2020) plantean para la vigilancia de la salud;

- Antecedentes clínicos ocupacionales y exámenes aptitud ocupacional.
- Periodicidad de las evaluaciones médicas.
- Criterios para la evaluación y diagnóstico de Silicosis.
- Criterios estandarizados por la OIT en ILO 2011, para realizar Radiografías torácicas.
- Manejo de la información y confidencialidad en toda información relacionada al estado de la salud de los trabajadores.
- Difusión de medidas de prevención y entrega de información al trabajador de los riesgos de exposición a SCR, comprendiendo como mínimo los siguientes temas;
  - a) Silicosis
  - b) Cáncer de pulmón.
  - c) Efecto sinérgico del tabaco
  - d) Efecto sinérgico con otras enfermedades
  - e) Importancia del diagnóstico precoz de cualquier dolencia respiratoria

- f) Importancia de cumplir con todas las medidas preventivas para la gestión del riesgo sílice

### **2.2.2.3. Equipo de Protección Respiratoria.**

Para exposiciones con concentraciones  $\leq 0.5 \text{ mg/m}^3$ , NIOSH recomienda usar un respirador de partículas de media cara con un filtro N95 o superior. De igual manera la Administración de Salud y Seguridad Ocupacional de EE.UU. (OSHA), especifica en el Código 29 de Regulaciones Federales (CFR) 1910.134 hacer uso de un filtro de al menos 95% de eficiencia para partículas de NaCl de  $\sim 0,3\mu\text{m}$ . Antes de usar el respirador requerido por 42 CFR 84, se debe desarrollar un plan de respirador integral que implique la capacitación del trabajador en el manejo apropiado, mantenimiento, limpieza y almacenamiento cuando sea reutilizable. Es importante consultar las Normas de protección respiratoria de OSHA (29 CFR 1910.134) para conocer los requisitos de un programa completo de respiradores. (NIOSH, 2008)

#### **Factor de protección**

El factor de protección asignado del respirador o clase de respiradores y el límite de exposición de la sustancia peligrosa, determinara la concentración máxima de uso (MUC) significa la concentración atmosférica máxima de una sustancia peligrosa de la que se puede esperar que un empleado esté protegido cuando usa un respirador. La MUC se puede determinar matemáticamente multiplicando el factor de protección asignado especificado para un respirador por el límite de exposición permisible de OSHA, el límite de exposición a corto plazo o el límite máximo. (3M Personal Safety Division, 2015)

$$\text{FACTOR DE EXPOSICIÓN} = \frac{\text{Concentración de SCR en el aire}}{\text{Límite de exposición Ocupacional}} \\ (\text{N}^\circ \text{ CAS } 1408-60-7); \quad (0.05 \text{ mg/m}^3)$$

El factor de protección asignado por OSHA (29 CFR 1910.134) al respirador de media cara con filtros purificadores de aire es de 10. Para una concentración SCR (N° CAS

1408-60-7) que no exceda 5 veces el PEL OSHA, en una jornada de 8 horas, se recomienda un Filtro N95. (3M Personal Safety Division, 2015)

Cuando no hay un límite de exposición de OSHA disponible para una sustancia peligrosa, un empleador debe determinar un MUC sobre la base de la información disponible relevante y el juicio profesional informado.

### **2.3. Definición de Términos Básicos**

#### **2.3.1. Emisión**

Es la cantidad de contaminante que vierte una fuente a la atmósfera. Estos parámetros están expresados en unidades de masa por unidad de tiempo (kg/h, tm/año).

#### **2.3.2. Concentración**

La inmisión es la cantidad de contaminante que se respira o se mide y suele expresarse en unidad de masa por unidad de volumen ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Está determinada por condiciones atmosféricas que se encargaran de realizar el transporte y difusión a través del viento(DKV Seguros, 2010).

#### **2.3.3. Polvo**

Se refiere a la suspensión de material sólido, particulado y disgregado en la atmósfera, generado por actividades mecánicas y/o por la fluctuación del aire. (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2007)

#### **2.3.4. Monitoreo Personal.**

Es la evaluación de la exposición TWA de 8hrs o  $\geq 70\%$  del de un turno de trabajo, que se realiza de forma individual a empleados expuestos a sílice cristalina respirable. El personal porta un tren ubicado cerca de la zona de respiración (esfera imaginaria de R = 30 cm que se extiende por delante de la cara)

#### **2.3.5. Monitoreo Ambiental.**

Es un muestreo representativo o de una fracción representativa de un área de trabajo, donde se toma una muestra considerando una fuente crítica o etapa crítica del proceso.

La evaluación es para una exposición TWA de 8hrs manteniendo el equipo de monitoreo a la altura de la zona de respiración.

### **2.3.6. Proceso de Conminución**

Es el proceso de toda operación minera que se realiza para lograr la reducción del tamaño del material extraído y la separación del mineral con la ganga, obteniendo la liberación de este. Dicho proceso se divide en dos etapas, en la primera etapa de chancado se realiza una reducción del material bruto y en la segunda etapa donde se sigue reduciendo se obtiene un material fino ideal para continuar con la siguiente etapa; flotación, que es la separación de los minerales sulfurados.

### **2.3.7. Evaluación de Riesgos**

Es una actividad realizada sucesivamente a la identificación de los peligros, que va a permitir definir nivel de amenaza a la salud para implantar y planificar la prevención.

### **2.3.8. Higiene Industrial**

Es una especialidad orientada a la identificación, evaluación y control de riesgos originados por agentes físicos, químicos, biológicos, psicosociales, disergonómicos y otros que se generen por la actividad y en el lugar de trabajo, previniendo que estos contaminantes puedan afectar la salud de los trabajadores y generar impactos negativos en el ambiente (DS N° 024 – 2016 – EM).

### **2.3.9. Enfermedad Profesional**

Es el desarrollo de una afección o daño a la salud irreversible o temporal, relacionado a las circunstancias de riesgo propias de una actividad industrial, reconocidas en la norma de salud NTS 068.

### **2.3.10. Exámenes Médicos Ocupacionales (EMO)**

Es la evaluación médica realizada para verificar si el trabajador es apto para desempeñarse en ciertas condiciones, vigilar su salud durante la exposición y verificar el grado de afectación al término de la exposición (DS N° 024 – 2016 – EM).

## **CAPÍTULO 3**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo y Diseño de la Investigación**

La presente investigación es de metodología cuantitativa de diseño no experimental, de tipo transeccional descriptivo y correlacional. La investigación, en un determinado momento diagnostica el nivel de afección a la salud por exposición al polvo (condición existente) haciendo uso de métodos estandarizados para la recolección de datos que en su análisis permitieron concretar el modelo en la propuesta de medidas preventivas (Hernández Sampieri, 2014).

La tesis es descriptiva en un inicio, porque “analizo cada uno de los elementos de estudio, a través de la representación de cada uno de ellos, lo que permite entender el comportamiento de cada uno”, obteniendo la encuesta necesaria e importante para establecer a través de la medición y la estimación los niveles de concentración del material particulado y las afecciones respiratorias a los que están propensos los trabajadores. Los resultados son relacionados para observar el grado de correspondencia existente entre la variable dependiente (Afección a la salud por exposición al polvo) y la variable independiente (Medidas de prevención). La investigación finaliza como descriptiva y correlacional (Hernández Sampieri, 2014).

#### **3.2. Población, Muestra y Muestreo**

La población muestreada se conforma por el total de 25 trabajadores entre 27 y 54 años de la planta chancadora de agregados para la construcción. La población por ser pequeña es igual a la muestra. Todos los trabajadores de la planta se encuentran afectados por la exposición al polvo.

### 3.3. Variables de Estudio

#### 3.3.1. Operacionalización de Variables

**Tabla 4 Operacionalización de Variables**

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADOR	INSTRUMENTO
DEPENDIENTE: Afección a la salud por exposición al polvo	Identificación de riesgos.	Fuentes emisión Tiempo de exposición Medidas de control	Check List. (medidas de control) Formato de Evaluación cualitativa de exposición
	Concentración de polvo	Cantidad de partículas respirables de polvo, en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . ECA	Muestreador de aire de alto volumen Thermo Scientific, VFC-PM10, Thermo aprobado por EPA
	Características del contaminante	Número y tamaño de partículas (0.3 $\mu\text{m}$ -10 $\mu\text{m}$ ). Tipo Materia prima. LMP	1. Equipo. 2. Revisión bibliográfica
	Factores de riesgo	Antecedentes de exposición, Enfermedades cardiacas, dificultad para respirar, tos, sibilancias, tuberculosis.	Encuesta
VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADOR	INSTRUMENTO
INDEPENDIENTE: Medidas de prevención	Controles ingenieriles	Controles de polvo fugitivo en el proceso.	1. Check List. (Medidas de control) 2. Propuestas de sistema de control polvo por niebla seca. 3. Propuesta de emulsión bituminosa.
	Controles administrativos	Programas de vigilancia.	1. Check List. (Medidas de control). 2. Revisión bibliográfica. 3. Protocolo de vigilancia de ambientes de trabajo y vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos a sílice.
	Aspecto económico	Costos unitarios	CAPECO RM Nº 270-2020-VIVIENDA

Fuente: Elaboración propia

### **3.4. Técnicas, Instrumentos y Fuentes de Recolección.**

#### **3.4.1. Identificación de Fuentes de Emisión y Sistemas de Control en el Proceso**

Para identificar y reconocer el peligro en el proceso de chancado se realizó el *Check List de Control de Polvo* (Ver ANEXO N° 05), elaborado a partir del Anexo N°10 del Protocolo de vigilancia de la salud de los trabajadores y puestos de trabajo con exposición a polvo de SiO<sub>2</sub> en construcción, del Instituto de Salud Pública de Chile.

El formato se usa para identificar fuentes, métodos o sistemas de control para reducir la exposición a polvos de sílice, administración y gestión del riesgo y el uso de protección respiratoria. El formato se diseñó específicamente para evaluar los procesos de trabajo, prácticas y condiciones del ambiente durante la investigación; los ítems son exclusivos para actividades de conminación del mineral, trituración y cribado de piedras en seco. Considerando los criterios de una evaluación cualitativa donde las características químicas y mineralógicas de la materia prima, roca pétreo, presentan una concentración en el intervalo de: >75% SiO<sub>2</sub> (Ministerio de Salud, 2015).

La identificación de peligros y evaluación de riesgos cuantitativa (IPERC) en todas las áreas y actividades de la empresa, ver ANEXO N°02, se usa para identificar la existencia de estándares de salud ocupacional, para la promoción de la salud y prevención de la enfermedad.

#### **3.4.2. Muestreo de MP Menor a 10µm en el Lugar de Trabajo**

Se realizó un muestreo de la calidad del aire para la prevención y evaluación de riesgos a la salud, siguiendo los criterios técnicos estandarizados en el Protocolo Nacional de Monitoreo de la calidad Ambiental de Aire aprobado por DS N° 010-2019-MINAM; priorizando como parámetro el material particulado <10µm asociado a las actividades de extracción de minerales metálicos.

A escala mundial, el método de referencia aceptado para el material particulado es la separación / filtración inercial (método por gravedad). La legislación peruana ha adoptado este método mediante el DS N°003-2017-MINAM, ECA para aire.

### 3.4.2.1. Proceso de Monitoreo MP <10µm

1. Se pesa el filtro para la recolección de la muestra y se coloca en una estufa a una temperatura de 105°C para que la humedad no afecte en los resultados.
2. Se usó un filtro de fibra de vidrio, indicado por la norma de protección ambiental 40 CFR Parte 50 en sus apéndices B (método de referencia de alto volumen, 99% de eficiencia para 0.3 µm de diámetro, ASTM-286) y J (garantía de calidad para la obtención de la muestra, EPA para PM10).
3. Para analizar las características del polvo se utilizará un muestreador de aire de alto volumen Thermo Scientific, VFC-PM10, Thermo aprobado por EPA (Environmental Protection Agency) y Normativa Chilena.
4. Para evitar fraccionamientos o suspensión de partículas >10µm, se aplica una grasa siliconada en Down Corning 316 en la plancha desmontable (base) de la cámara de impactación.
5. El equipo fue previamente limpiado y posteriormente se colocó el filtro.
6. Calibración de la bomba de muestreo.
7. La carga total de polvo no debe exceder dos miligramos

**Tabla 5** *Parámetros de monitoreo*

Parámetro	Media	Mínima	Máxima
Temperatura (°C)	33.05	32.6	33.5
Caudal (m³/min)	1.13	0.017	1.13
Humedad relativa (%)	45.65	39.2	52.1
Presión Barométrica (mmHg)	763.685	760	767.37

Fuente: Elaboración propia

Se ubicó el muestreador de aire de alto volumen Thermo Scientific, VFC-PM10 lo más cercano a las fuentes de emisión identificadas, considerando que la dirección es relativa hacia el ambiente donde están las demás actividades. No existe una dirección del viento

predominante. Se han seguido las instrucciones del Protocolo Nacional de monitoreo de la calidad Ambiental del Aire aprobado por Decreto Supremo N° 10-2019-MINAM el 02 de diciembre de 2019

Para la medición de la cantidad y tamaño de partículas respirables se empleará el contador de partículas.

### **3.4.3. Concentración de la Sílice Libre en la materia prima**

No fue posible realizar el análisis por espectrofotometría de absorción infrarroja para encontrar dióxido de silicio en la muestra de polvo respirable obtenida, los métodos infrarrojos exigen de un tamaño de partícula ( $<5 \mu\text{m}$ ) para lo cual se requiere de un equipo similar al especificado en NIOSH 7602, utilizando un filtro similar a los filtros de PVC ( $5.0 \mu\text{m}$ ) para fines médicos y exclusivos para aplicaciones de monitoreo en aire con partículas de sílice.

Dicho método depende de la dimensión de la partícula. Una disconformidad entre los parámetros y la dimensión de las partículas del muestreo trascenderá en un sesgo incorregible (NIOSH , 2003)

El análisis de la concentración de sílice en la muestra se tiene que realizar de acuerdo al MÉTODO NIOSH 7602 2003. Al no poderse realizar la evaluación de sílice con el primer método, se optará por un método alternativo que nos permitirá analizar la proporción de dióxido de silicio en el material muestreado, a través de un análisis químico y cálculo de la concentración de los metales en los filtros del PM<sub>2,5</sub>. Para validar la calidad de los datos la prueba será realizada en un laboratorio acreditado por el INACAL (Instituto Nacional de Calidad del Perú), utilizando el método de la Espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES).

Para evidenciar la presencia del agente contaminante SiO<sub>2</sub> % en la materia prima (N° CAS 14808-60-7) se ha tomado los valores de los análisis geoquímicos de los elementos principales de las rocas y minerales industriales (RMI). El Método Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) realizado en los laboratorios

INGEMMET (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico) permite identificar y cuantificar minerales metálicos y no metálicos de mayor contenido en una muestra, especificando el tipo de mineral de la familia, asimismo cuantificar las fases amorfas.

En la evaluación geología para concesiones mineras no metálicas, realizada por INGEMMET en la región de Lambayeque, se obtuvieron datos de las características físico-químicas, de muestras granulares obtenidas en la zona de canteras de piedra para aplicaciones en construcción, los datos permitieron identificar el contenido de sílice en la materia prima triturada. (Carpio Ronquillo et al., 2017)

#### **3.4.4. Evaluación de Factores de Riesgos.**

Se aplicó el cuestionario “*CUESTIONARIO SOBRE FACTORES DE RIESGO EN LA SALUD PULMONAR*” Ver ANEXO 03, que permite evaluar los efectos agudos que se ocasionan por exposición prolongada a altos niveles de material particulado (Barr et al., 2007).

La entrevista de tipo personal, mediante este instrumento nos indicara su vulnerabilidad para adquirir una enfermedad respiratoria, así determinaremos las afecciones que han desarrollado durante el tiempo que han servido en esta empresa. Los principales síntomas asociados a las enfermedades por sílice como el cáncer de pulmón, EPOC, enfermedad cardíaca pulmonar, afecciones cardíacas y silicosis son: dificultad para respirar, falta de aliento, infartos de miocardio (no mortales), tos con sangre, falta de aire, sibilancias en el pecho y tos crónica (Department of Labor and Economic Opportunity, 2019; Liu et al., 2014; Ministerio de Sanidad, 2020).

## **CAPÍTULO 4**

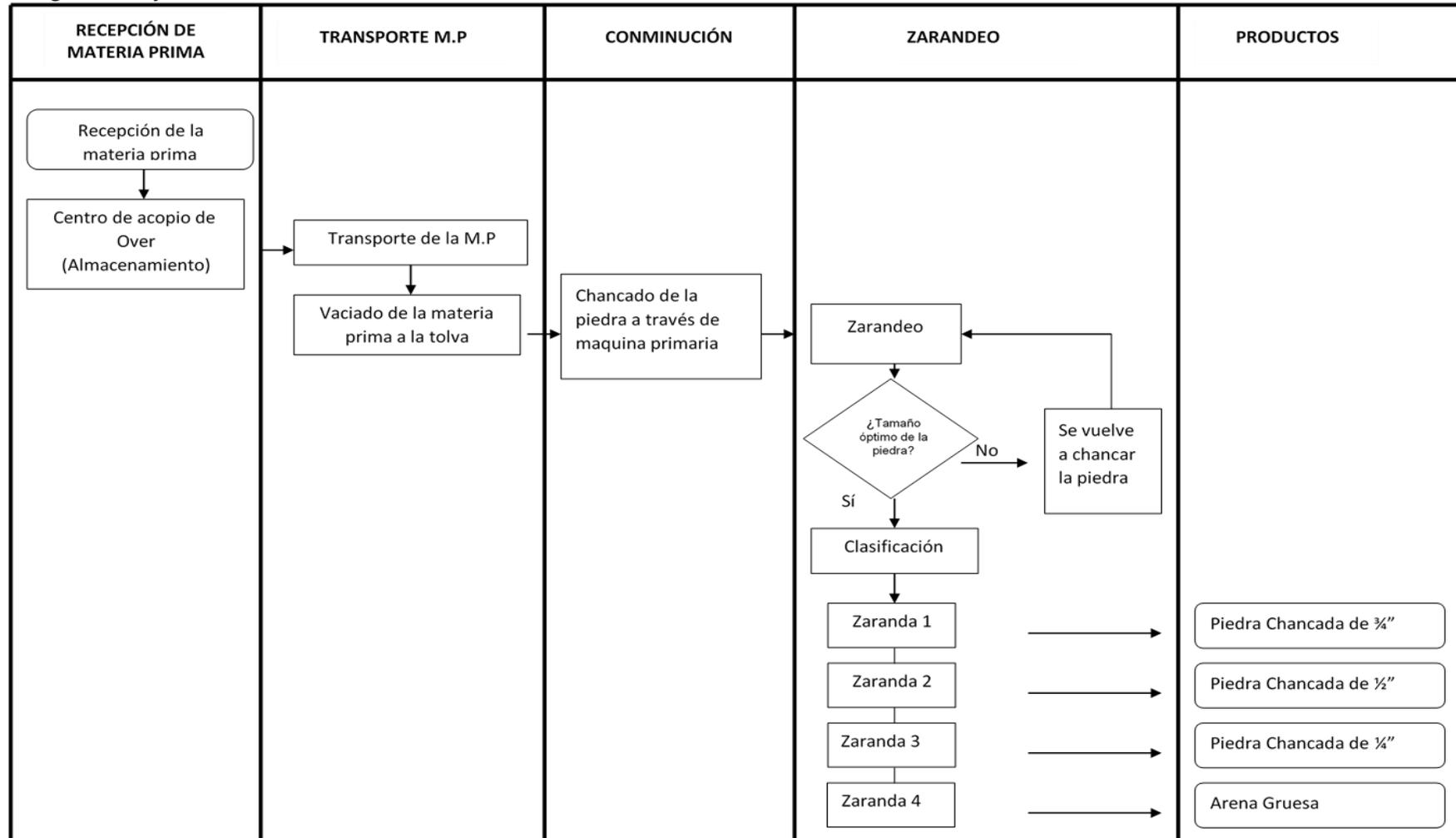
### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del Proceso de Chancado.**

La planta chancadora cuenta con una capacidad instalada de hasta mil doscientas (1,200) toneladas métricas por día en cuanto a producción y/o beneficio de agregados de construcción. El proceso de reducción de la piedra proveniente de las canteras, de 3 a 6 pulgadas, se realiza en seco desde el inicio hasta la etapa final.

El proceso comprende:

Figura 4 Diagrama de Flujo del Proceso de Producción



Fuente: Elaboración propia

#### **4.1.1. Ingreso de la Materia Prima.**

Consiste en recepcionar y colocar la materia prima en el centro de acopio o de Over. El mineral es trasladado en volquetes de 15m<sup>3</sup> desde la cantera hasta la planta, este tránsito constante de los volquetes generan emisiones de polvo en el camino.

#### **4.1.2. Abastecimiento y Transporte de la Materia Prima**

Es el traslado de la piedra bruta a través de un cargador de ruedas mediano de 4.4m<sup>3</sup> de capacidad máxima desde el centro de acopio a la tolva para iniciar el proceso de chancado.

#### **4.1.3. Chancado Primario**

Consiste en la demolición y semi trituración de la piedra bruta a través de la maquina primaria o quijada primaria.

#### **4.1.4. Zarandeo**

Consiste en seleccionar la piedra ya triturada para obtener los productos finales (Piedra de ¾" de pulgada, de ½", de ¼" y arena gruesa o confitillo).

#### **4.1.5. Chancado Secundario**

Es el chancado final que busca obtener un tamaño más fino, consiste en demoler la piedra que no paso por la malla de ¾" de pulgada en la máquina Secundaria o cónica. Volviendo al proceso de zarandeo.

#### **4.1.6. Almacenamiento del Producto Terminado**

Consiste en almacenar el producto final en un lugar específico de acuerdo con la clase de producto.

#### **4.1.7. Operaciones Auxiliares**

- **Reparación y mantenimiento:**

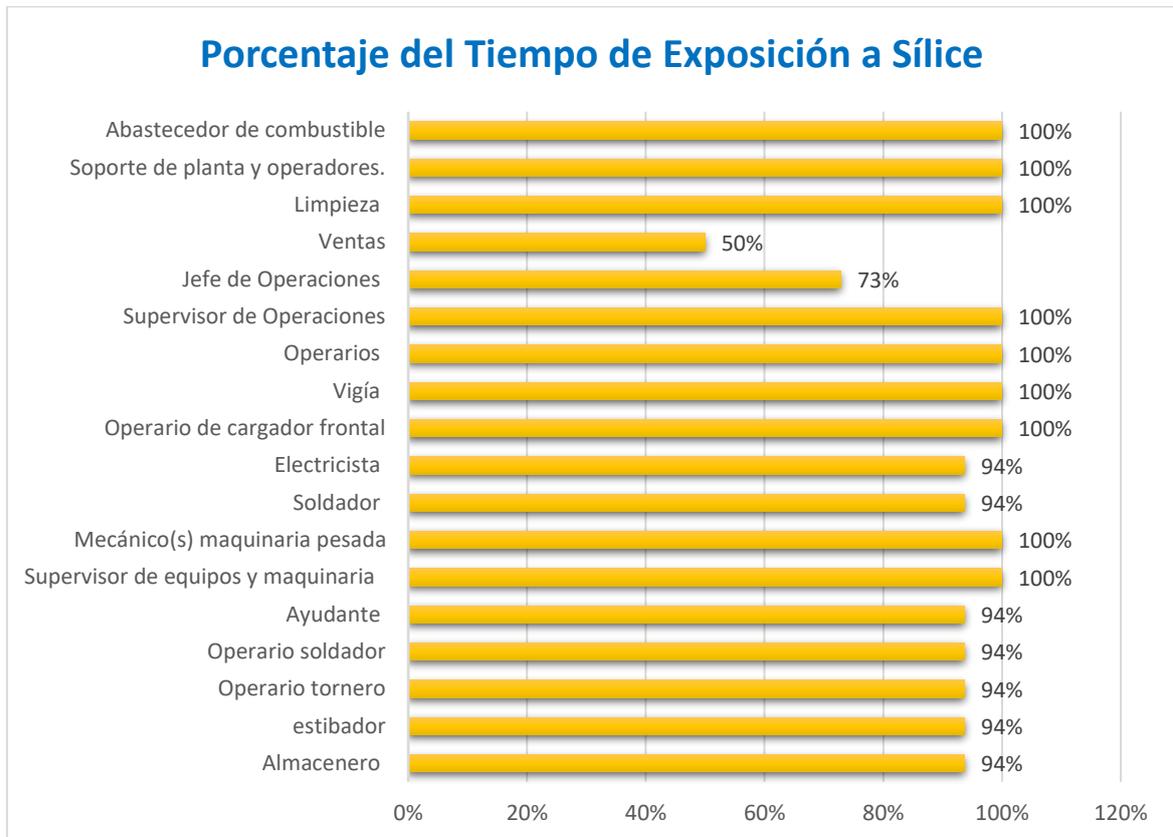
La planta cuenta con un taller donde se realizan reparaciones de las piezas desgastadas, tales como pines de fajas y mallas de cribado. Diariamente también se efectúan trabajos de soldadura con exposiciones a humos metálicos.

- Venta de agregados:

Los compradores de agregados ingresan a la planta diariamente, en un máximo de 30 vehículos, con volquetes de 15m<sup>3</sup> y 20m<sup>3</sup>, con capacidades de carga que van desde 20 hasta 39 ton. El cargador está en constante actividad realizando el transporte de mineral a la tolva y abasteciendo a los volquetes.

#### 4.1.8. Tiempo de Permanencia de los Trabajadores en Planta.

**Figura 5** *Tiempo de exposición semanal*



Fuente: Elaboración propia, Ver ANEXO N° 1 Evaluación cualitativa de exposición.

El proceso de reducción de piedra interactúa con las demás actividades de la planta, se identificó que no existen medidas de control del tipo ingenieril que intervengan como barreras para reducir la inmisión. La que principalmente se genera en los subprocesos de transformación en seco y en el tránsito de los vehículos. Por otro lado, el tiempo que permanecen los trabajadores expuestos al material particulado supera en promedio el

93% del total de las 48 horas de trabajo semanal, existiendo un riesgo para la salud respiratoria.

De acuerdo con la NTS N°068 - MINSA/DGSP las actividades de la empresa están relacionadas con el polvo de sílice libre y la silicosis, así mismo el titular de la actividad minera debe realizar monitoreos de sílice cristalina respirable como indica el Decreto Supremo N° 010-2019-MINAM, lo que no se realiza. Los trabajadores no están siendo sensibilizados en cuanto al riesgo que conlleva la exposición a la sílice, así como la empresa no está llevando un seguimiento de la salud de los operarios como está contemplado en el Decreto Supremo N° 024- 2016-EM.

#### **4.1.9. Condiciones Ambientales**

El proceso de chancado como la mayoría de las actividades de la planta se realizan a la intemperie, por lo que la dinámica atmosférica y la altitud influyen en el proceso de dispersión y transporte del contaminante polvo.

La planta de chancado se ubica en la carretera Chiclayo – Ferreñafe, departamento de Lambayeque a 4 minutos de la localidad de Picsi.

**Figura 6** Ubicación Geográfica

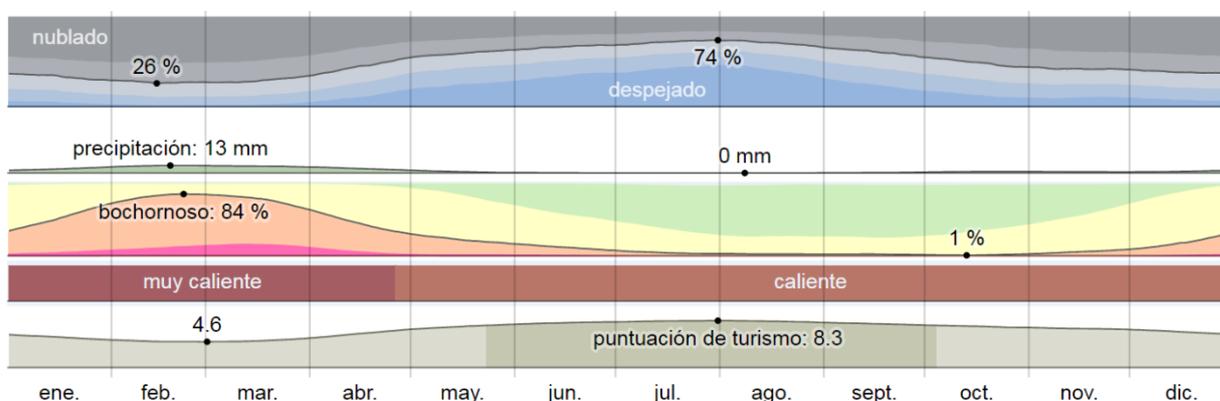


Fuente: Google Maps, 2021

- **Temperatura Promedio**

En Pícsi, durante el año la temperatura oscila en el rango de 17° C a 32° C, y rara vez desciende por debajo de los 15 ° C o sube por encima de los 34 ° C.

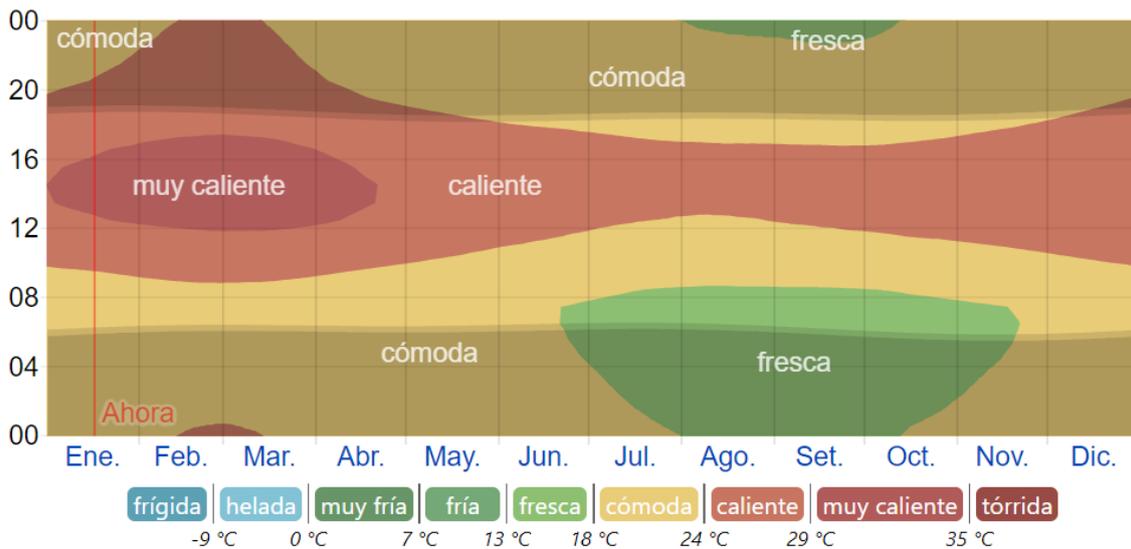
**Figura 7** Clima promedio Pícsi



Fuente: (WeatherSpark.com, 2021)

La Figura 8 es una muestra una representativa de la temperatura media por hora durante el periodo de un año. El eje horizontal corresponde a la fecha del año y el eje vertical es la hora y el color rojo es la temperatura superior a los 24°C. En un horario de trabajo desde las 8 hasta las 17:00 la temperatura media anual es superior a los 27°C.

**Figura 8** La temperatura promedio por hora, codificada por colores en bandas



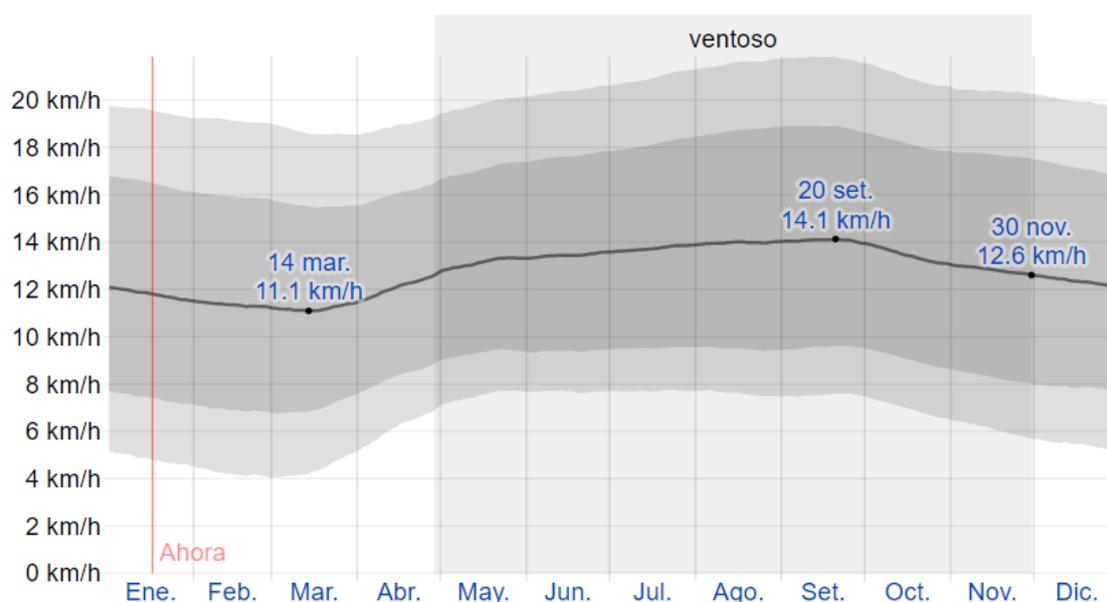
Fuente: (WeatherSpark.com, 2021)

- **Viento**

El transporte del contaminante polvo es causado por el movimiento atmosférico en dirección horizontal (convección) y dirección vertical. Las corrientes de aire dispersan el contaminante en el ambiente laboral. Los movimientos atmosféricos en dirección horizontal y la turbulencia mecánica causada por la interacción entre masas de aire provoca la suspensión permanente de polvo.

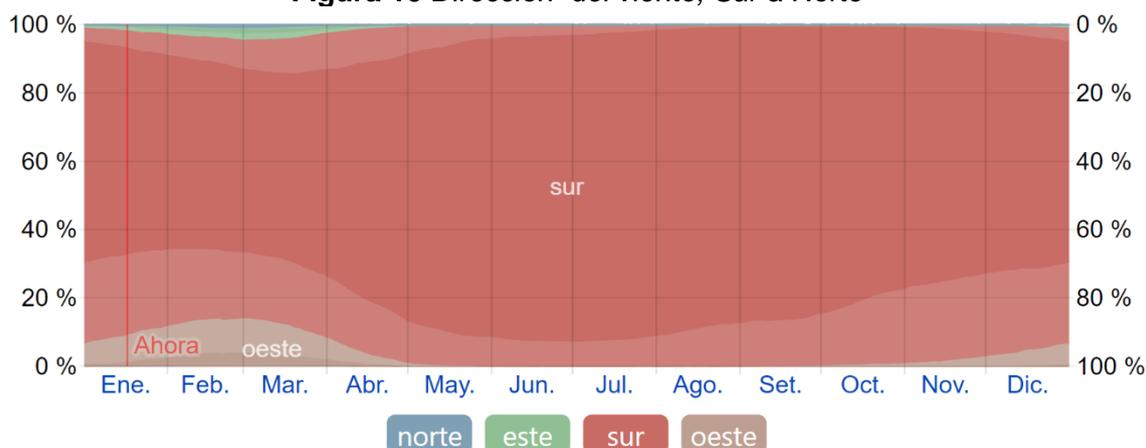
La velocidad media del viento por hora en Picsi tiene poca variación a lo largo del año. Del 28 de abril al 30 de noviembre, es el periodo donde se registran velocidades promedio que exceden los 12.5 km/h. Según la Figura 9 es el 20 de septiembre el día en que se registró la velocidad promedio más alta de la estación, con una velocidad media del viento de 14,1 km/h. Así mismo del 30/11 al 28/04 fue el período más tranquilo del año.

**Figura 9** Velocidad promedio del viento



Fuente: (WeatherSpark.com, 2021)

**Figura 10** Dirección del viento, Sur a Norte



Fuente: (WeatherSpark.com, 2021)

#### **4.1.10. Sistemas de Control de Polvo y Condiciones de Trabajo**

Se empleó el CHECK LIST CONTROL DE POLVO que consta de 33 Ítems tomados del ANEXO N° 10 del Protocolo chileno para la vigilancia de ambientes de trabajo y evaluación del estado de salud de los trabajadores expuestos a sílice, donde se evidencio en una primera parte referente a CONTROLES INGENIERILES, que evalúan el diseño y maquinarias del proceso, lo siguiente;

- Que la tolva es de capacidad menor al tonelaje a pasarse,

- Que las trituradoras generan un exceso de emisión ante un incremento en la demanda,
- Que no se cuenta con colectores de polvo ni con sistemas para humectar los puntos donde exista emisión de material particulado,
- Que a pesar de que se riegan los caminos existen emisiones generadas por el tránsito de vehículos,

Ante lo observado OSHA 1926.1153 y Castañega Coll & Yataco Medina (1963) recomiendan la selección de equipos con alta capacidad de procesamiento, que logren una reducción en el tiempo de exposición como las chancadoras cónicas, sistemas de captación por ventilación forzada o confinamiento de las emisiones con contenido de SCR evitando su dispersión en el ambiente de trabajo. Para los caminos se recomienda la estabilización química con aditivos higroscópicos no peligrosos, los cuales tienen un efecto más duradero.

Ver ANEXO N° 2 Check List Control de Polvo.

Referente a CONTROLES ADMINISTRATIVOS empleando la Matriz de identificación de peligros, evaluación de riesgos y control (IPERC) de la empresa, Ver ANEXO N°04 y el ANEXO N° 2 Check List Control de Polvo, se evidencia lo siguiente:

- No existen programas de capacitación, medidas de señalización y de sensibilización en la prevención de enfermedades respiratorias.
- La empresa no tiene un SGSST o un Plan de Salud Ocupacional en el que estén incorporados las Directrices Específicas publicadas por la OIT para reducir la incidencia anual de Silicosis.
- Que no se han elaborado procedimientos que establezcan los estándares para realizar la eliminación y limpieza de polvo sedimentado en las instalaciones de la planta (pisos, vigas, cornisas, escaleras, etc.).
- No se realiza la limpieza de las instalaciones al final de cada turno.
- La eliminación del contaminante polvo acumulado en la ropa de trabajo y EPP, no se realiza de manera segura.

De los hallazgos encontrados se recomienda elaborar procedimientos que contengan estándares de seguridad para mantener libres de polvo sedimentado las instalaciones de la planta y las actividades de limpieza se desarrollen sin generar dispersiones y riesgos para la salud, usar infografías para advertir sobre los riesgos y efectos para la salud que pueden ser causados por el polvo de sílice o cuarzo, asegurar la difusión del protocolo o plan, realizar la limpieza diaria de la ropa de trabajo mediante la aspiración del contaminante. (Bello et al., 2019; Castañega Coll & Yataco Medina, 1963; MINSAL, 2015)

Referente al apartado de PROTECCIÓN RESPIRATORIA se encontró aplicando el ANEXO N° 2 Check List Control de Polvo, evidencia de;

- Exposición e inhalación de material particulado en el personal, tales como polvo acumulado en el rostro y en los equipos de seguridad.
- No existen registros de capacitación en el uso correcto de respiradores, filtros y EPP.

Para proteger ante el riesgo de una enfermedad respiratoria el empleador brinda respiradores con filtro 6003 de media cara aprobados por NIOSH 42 CFR parte 84. La ficha técnica indica que el cartucho es adecuado para realizar actividades en plantas de concentración de minerales y de fundición, y ofrece protección contra la inhalación de gases que se producen en otras áreas de trabajo.

Es importante destacar que los trabajadores en su mayoría llevan prestando servicios por más de diez años, en trabajos de metal mecánica para el mantenimiento de maquinaria y equipos de chancado, así como trabajos de soldadura lo que aumentan la susceptibilidad a contraer un Cáncer de pulmón. Así mismo The Instytut Medycyny Pracy-NCBI afirma que, dependiendo de la composición de los electrodos (níquel o cromo) y el sistema de soldadura (TIG, MIG, MMA y MAG), así como el material a soldar utilizado (galvanizado/pintado), los efectos sobre la salud incluyen anomalías de la función pulmonar, como la neumoconiosis, la fibrosis pulmonar y el cáncer de pulmón.

Los puestos de trabajo que generen riesgos a la salud respiratoria deberán ser evaluados, identificando sustancias, materiales, gases o partículas inhalables que se

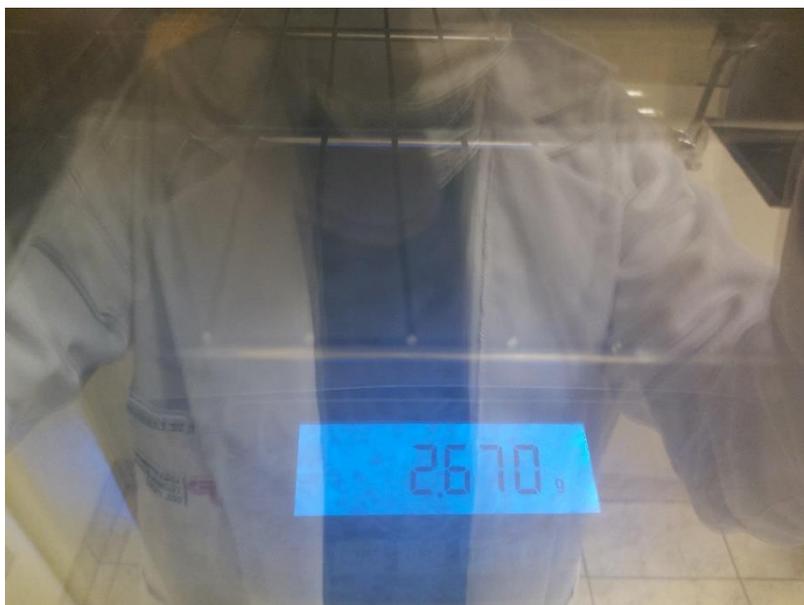
puedan desprender. Esta evaluación se actualizará en la medida que se introduzcan nuevas condiciones o materiales peligrosos, o cuando existan perjuicios en el bienestar de los trabajadores, las cuales deberán ser registradas en el historial ocupacional. (Ministerio de Sanidad, 2020)

#### **4.2. Evaluación de la Exposición del Contaminante Polvo**

##### **4.2.1. Concentración de Polvo**

Se realizó el muestreo de MP menor a 10 µm y menor de 2.5 µm. La muestra fue recolectada por el muestreador de partículas de aire de alto volumen Thermo Scientific, VFC-PM10 empleando un caudal de aire: 1.133 m<sup>3</sup>/min para partículas de 10 µm

**Figura 11** *Peso inicial del filtro en Estufa eléctrica*



Fuente: Laboratorio de monitoreo UTP

Filtro de fibra de vidrio:

Peso inicial (*P<sub>i</sub>*) de 2.670 gr y final (*P<sub>f</sub>*) de 3.72 gr, obteniendo 1.05g de polvo en FR.

La concentración del PM10 del filtro se calculó según el Protocolo Nacional de monitoreo de la calidad Ambiental del Aire aprobado por DS N° 10-2019-MINAM:

$$\text{Concentración} = [\text{Partículas}] = \frac{M}{Va}$$

**Dónde:**

M: Masa del contaminante ( $\mu\text{g}$ )

Va: Volumen actual de la muestra ( $\text{m}^3$ ), en términos de  $T^\circ$  ambiental y Presión atmosférica

$$Va = (Qa)x(t)$$

**Dónde:**

Qa: flujo de muestreo ( $\text{m}^3/\text{min}$ )

t: tiempo o periodo de muestreo (min)

Remplazando la fórmula:

$$\text{Concentración} = [PM_{10}] = \frac{1.05xe^{-6}\mu\text{g}}{1591.674\text{m}^3} = 659.68 \text{ ug}/\text{m}^3$$

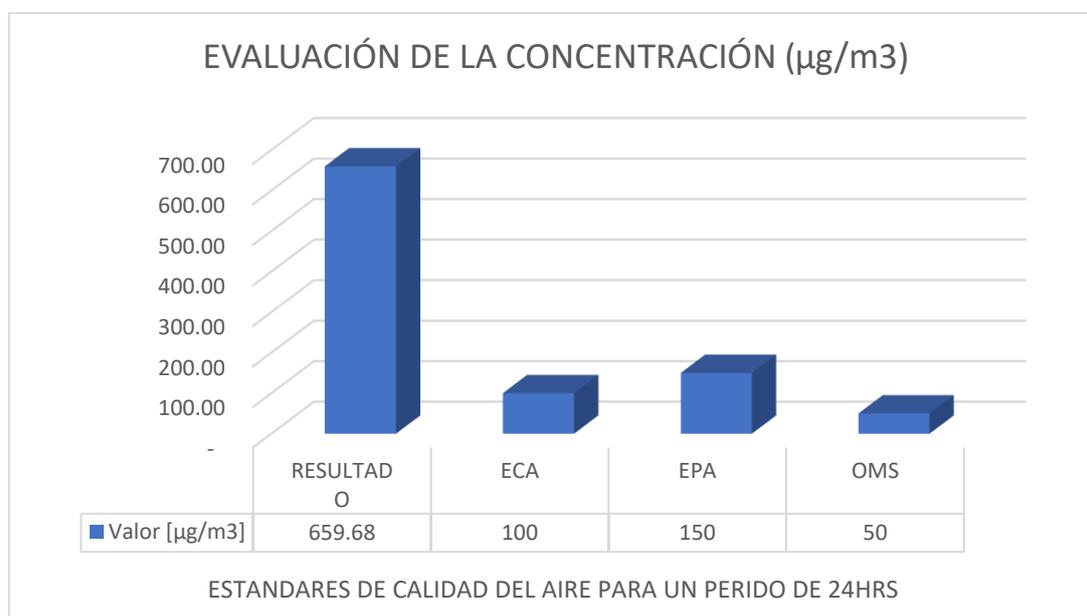
Obteniendo como resultado que la concentración de PM10 es igual a:  $659.68 \text{ ug}/\text{m}^3$  y al comparar este resultado con los parámetros de calidad del aire ambiental y ocupacional tanto nacionales como internacionales se obtuvo lo siguiente:

**Tabla 6** Evaluación de la concentración con los límites de protección

Comparación con estándares	
Estándares y Normativa	Concentración promedio
<b>RESULTADO</b>	659.68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>ECA 2017</b>	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>EPA – NAAQS 2021</b>	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>Guías de la calidad del aire OMS</b>	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Fuente: Elaboración propia

**Figura 12** Evaluación de la concentración de partículas menores a  $10\ \mu\text{m}$



Fuente: Elaboración propia

Se manifiesta que el valor de la concentración de  $PM_{10}$  en el monitoreo supera más de 6 veces la norma ambiental ECA N° 003-2017-MINAM del aire, y más de 13 veces el nivel de la OMS. Los estándares de exposiciones ocupacionales están orientados a contaminantes químicos, se asumió como contaminante representativo para la comparación y evaluación de la concentración a la sílice.

#### **4.2.2. Características del Contaminante**

##### **4.2.2.1. Concentración de Sílice en la Exposición**

De acuerdo al INGMET en Carpio Ronquillo et al.,(2017) se analizaron 04 muestras (14d-RNM – 14 y 15) en la unidad estratigráfica, correspondiente a la cantera de extracción de materia prima (roca ígnea de más de 3”) compuesta casi en su totalidad por silicatos, para aplicaciones en el sector construcción, lo que fue utilizado como indicio en la presente investigación.

En los resultados se obtuvo una concentración de  $\text{SiO}_2$  entre 95.67-98.05 %, con bajo contenido de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  entre 0.11- 0.35 %, además concentraciones de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  y  $\text{TiO}_2$  entre 0.66-0.89 %, <0.02 %, 0.08-0.14 %, 0.11-0.8, <0.01-0.03

% y 0.09-0.15 % respectivamente. Todas las ocurrencias dentro de la zona se aplican en el sector construcción, cerámica, producción de acero y ferro silicio.

Las muestras areniscas cuarzosas obtenidas evidencian que, el estrato donde está ubicada la cantera, objeto de estudio, de la que se extrae la materia prima para el proceso, es una zona favorable para la sílice. Al respecto el protocolo del Ministerio de Salud (2015) de Chile, en lo que corresponde a vigilancia de los ambientes de trabajo, ANEXO N° 1, avala que el contenido de sílice expone la salud de los trabajadores a riesgos. Asimismo, manifiesta que las operaciones donde existan materias primas con contenido  $\text{SiO}_2$  (N° CAS 1408-60-7) mayor al 30% y no mayor al 75% o con presencia de Cuarzo (100%  $\text{SiO}_2$ ), son actividades de Riesgo de Exposición a la sílice. Esta afirmación también se pudo contrastar en Ministerio de Sanidad (2020) en el cual se considera como no aceptable toda exposición donde el contenido en sílice en la materia directa sea mayor al 15%.

**Tabla 7 Concentración de Metales en muestra**

Zona	Muestra	SiO <sub>2</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	CaO %	MgO %	TiO <sub>2</sub> %	MnO %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	LOI %	TOTAL %
Mesones Muro	14d-RNM-09	97.29	0.24	0.66	<0.02	0.10	0.24	0.02	0.09	<0.01	<0.01	0.96	99.59
	14d-RNM-11	98.05	0.25	0.59	<0.02	0.12	0.11	<0.01	0.09	<0.01	<0.01	0.06	99.28
	14d-RNM-14	95.67	0.11	0.89	<0.02	0.08	0.80	0.03	0.15	<0.01	0.51	0.83	99.07
	14d-RNM-15	97.56	0.35	0.82	<0.02	0.14	0.34	0.02	0.15	0.02	0.05	0.52	99.96

Fuente: Elaborado a partir de los resultados de laboratorio del INGEMMET. (Carpio Ronquillo et al., 2017).

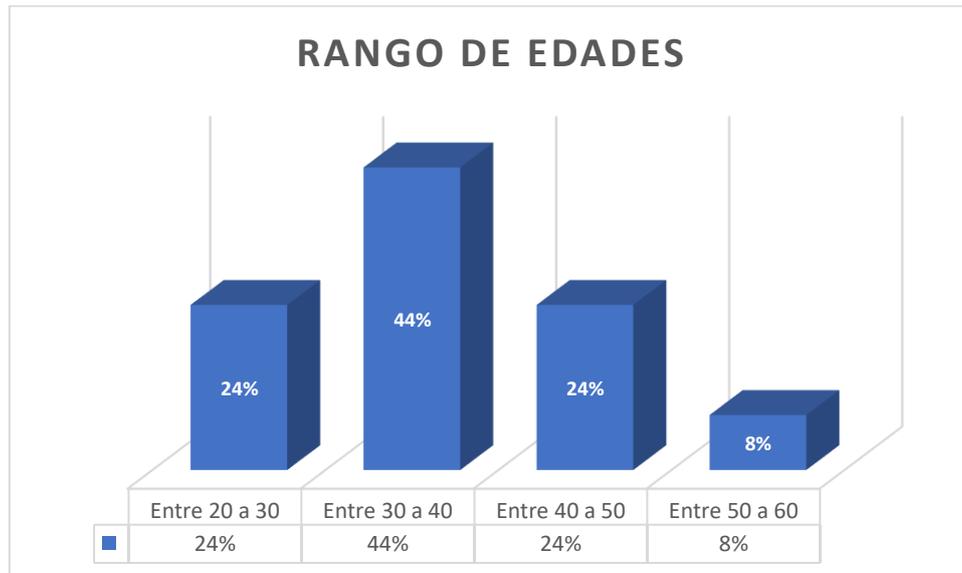
### 4.3. Factores de Riesgo

Según la encuesta aplicada a los trabajadores se obtuvo lo siguiente:

#### 4.3.1. Datos Demográficos

Los trabajadores a los que se aplicó la encuesta están conformados por 23 varones y 2 mujeres. Con una edad media igual a 37 años.

Figura 13 Rango de edad de la población expuesta



Fuente: Elaboración propia

El 44% del personal se hallan en el intervalo de edad de 30 a 40 años, y el 76% presentan la edad como un ítem riesgoso para el desarrollo acelerado de silicosis, según indica Shafiei et al., (2019) quien manifiesta que a partir de los 30 años los trabajadores deben ser evaluados para evitar el desarrollo de enfermedades asociadas al polvo de sílice.

**Figura 14** Tiempo de servicio en la planta chancadora



Fuente: Elaboración propia

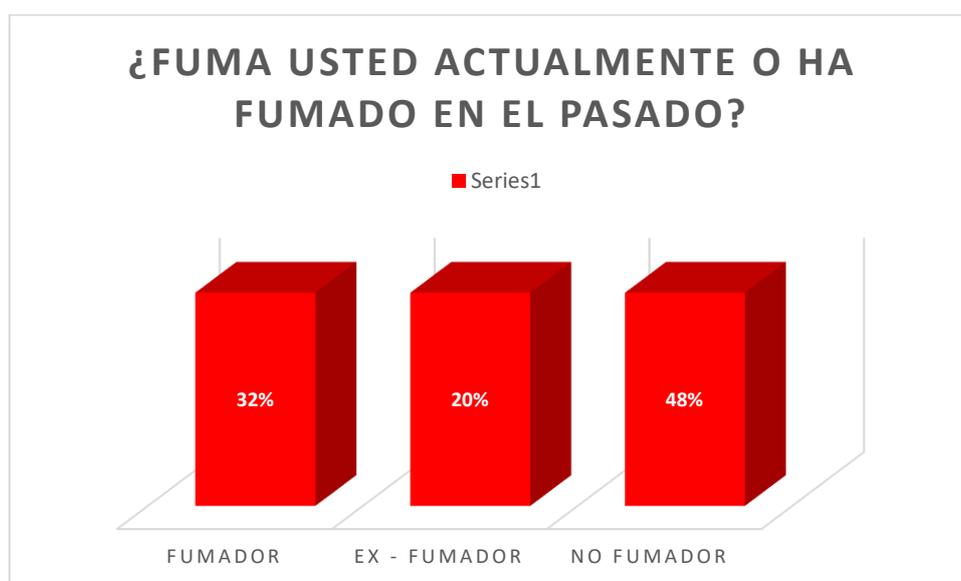
En la figura 24 observamos que aproximadamente el 64% de trabajadores ha brindado servicios durante 5 a 10 años en la empresa y que un 12% lo ha hecho por más de 10 años en referencia a ello Meléndez Rascón et al., (2009) advierte de casos asintomáticos en los trabajadores con un tiempo superior a 15 años en labores con presencia de sílice al igual que en trabajadores que llevan 10 años expuestos a altos niveles de sílice, como lo son las actividades de la planta, por lo que se sugiere descartar la incidencia de una silicosis oculta; así mismo las directrices de vigilancia de Department of Labor and Economic Opportunity, (2019) sugieren que al menos el 88% de los trabajadores debe ser evaluado para descartar inicios de silicosis crónica o acelerada.

#### **4.3.2. Condición de Fumador**

**Pregunta 01.** ¿Fuma usted actualmente o ha fumado en el pasado?

El porcentaje de trabajadores entre fumadores y exfumadores suma un 52%, esta condición aumenta la susceptibilidad para desarrollar silicosis.

**Figura 15** Condición de fumador



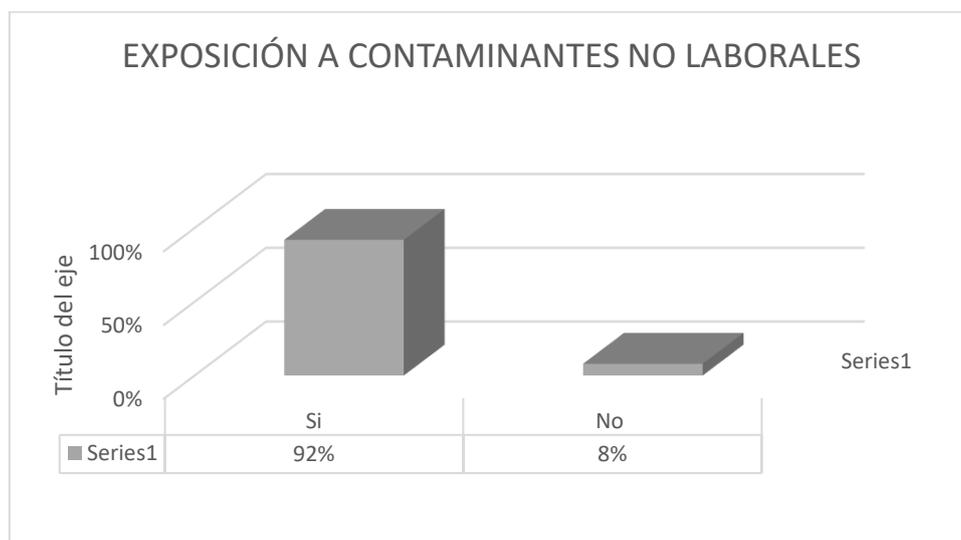
Fuente: Elaboración propia

Al interactuar con más de dos sustancias o contaminantes los trabajadores aumentan las susceptibilidad y probabilidad de sufrir una enfermedad respiratoria ocupacional, que no son necesariamente características de la exposición al agente evaluado, por ejemplo: El humo del cigarro. Por lo que se concluye que aproximadamente la mitad de los trabajadores, en esta investigación, es una población vulnerable para contraer silicosis y a padecer cáncer del pulmón.

#### **4.3.3. Exposición Ambiental no Laboral**

**Pregunta 02.** ¿En el lugar donde vive existe alguna de estas fuentes de contaminación atmosférica tráfico, fabricas, industria, polvo, cenizas, etc.? ¿O ha vivido en algún lugar con estas características de contaminación excesiva?

**Figura 16** *Exposición ambiental no laboral*



Fuente: Elaboración propia

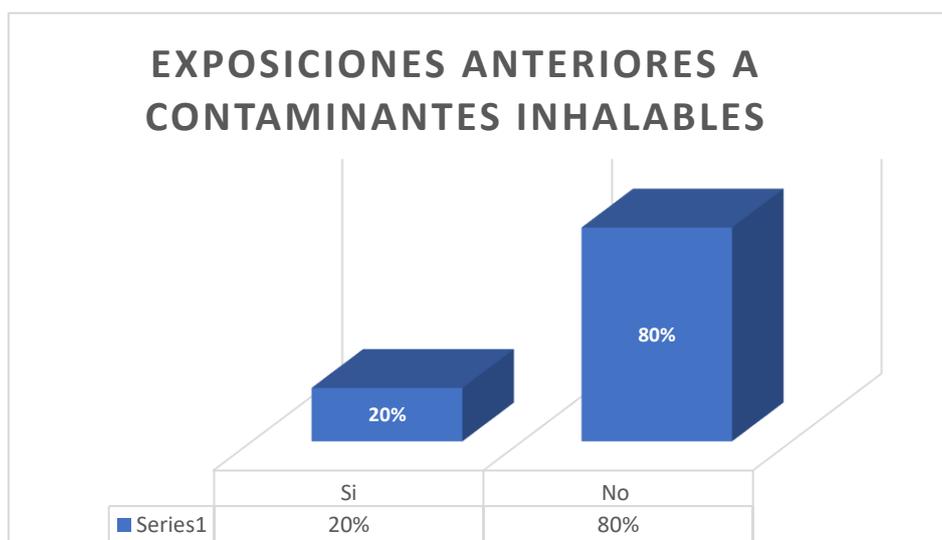
El 92% de los trabajadores reside en zonas con condiciones que incrementa el riesgo de desarrollar de manera crítica afecciones respiratorias y cardiovasculares. Al respecto en DKV Seguros (2010) Instituciones internacionales como EPA y OMS, han reconocido que la inhalación de estos contaminantes aumenta el riesgo de muerte. La contaminación que ellos mencionan se origina por emisiones de polvo en calles no pavimentadas, polución urbana, alto tránsito y cenizas de las fábricas de azúcar cercanas a sus viviendas.

#### **4.3.4. Historial de Exposición Ocupacional.**

**Pregunta 03.** ¿Estuvo expuesto a emisiones de polvo, humos, vapores o gases anteriormente en alguna de sus tres últimas ocupaciones?

El la Figura 20 se puede apreciar que el 80% de trabajadores manifiesta que estuvo expuesto en su antiguo puesto laboral a gases, humos, polvos y otro contaminante que le pudiese ocasionar una enfermedad respiratoria.

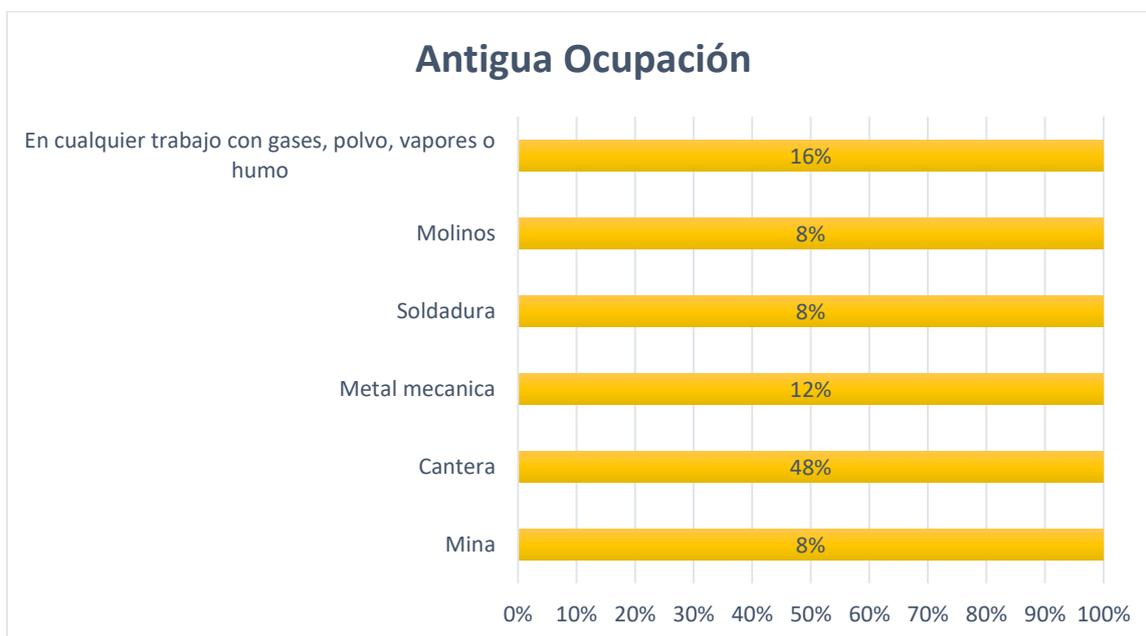
**Figura 17** Exposición a contaminantes químicos



Fuente: Elaboración propia

**Pregunta 04.** Tiempo que laboro en alguna de estas manufacturas que se manifiestan a continuación:

**Figura 18** Antigua ocupación



Fuente: Elaboración propia

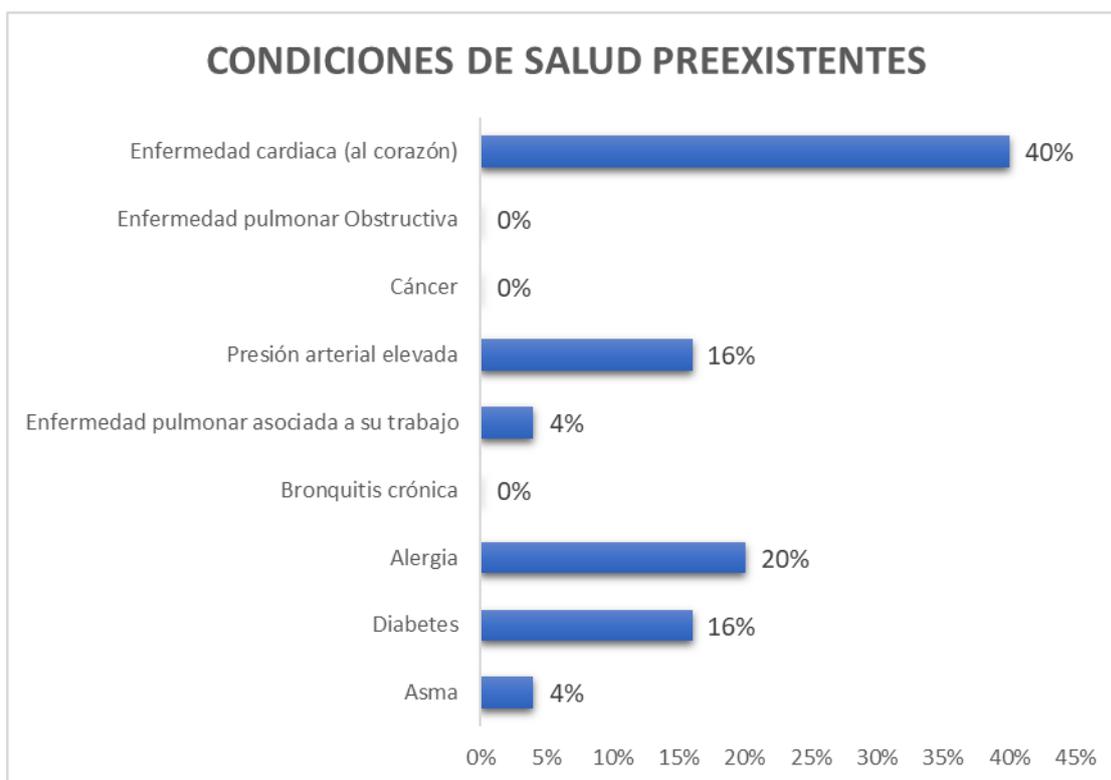
El 56% de los trabajadores estuvo trabajando en canteras y minas, actividades en las que es habitual encontrar exposiciones a polvo con contenido de sílice o cuarzo (Ministerio de Sanidad, 2020).

El 52% se desempeñó en otras actividades, en un promedio de dos años, donde estuvieron expuestos a otro tipo de emisiones.

#### 4.3.5. Historial Clínico

**Pregunta 05.** ¿Se le ha diagnosticado o recibido tratamiento para alguna de las siguientes enfermedades?

**Figura 19** Condiciones de salud preexistentes



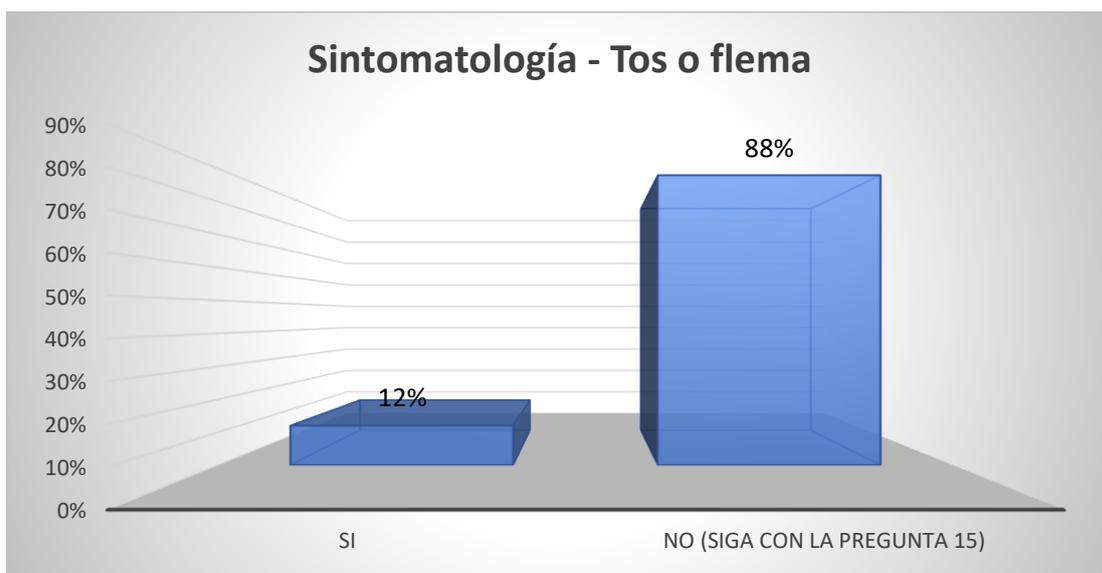
Fuente: Elaboración propia

El 40% de los trabajadores expuestos al polvo manifiesta tener afecciones cardíacas las que se pueden atribuir a la inhalación de polvo con niveles altos de partículas finas y con contenido de metales. Las condiciones actuales del ambiente de trabajo agravan la hipertensión, alteran la frecuencia cardíaca (arritmias) y aumenta el riesgo, de una enfermedad isquémica del corazón. (DKV Seguros, 2010b; Liu et al., 2014; Münzel et al., 2014)

#### 4.3.6. Sintomatología

**Pregunta 6.** ¿Usted tose frecuentemente durante el día o tiene expectoración por lo menos cuatro días o más a la semana?

**Figura 20 Sintomatología**

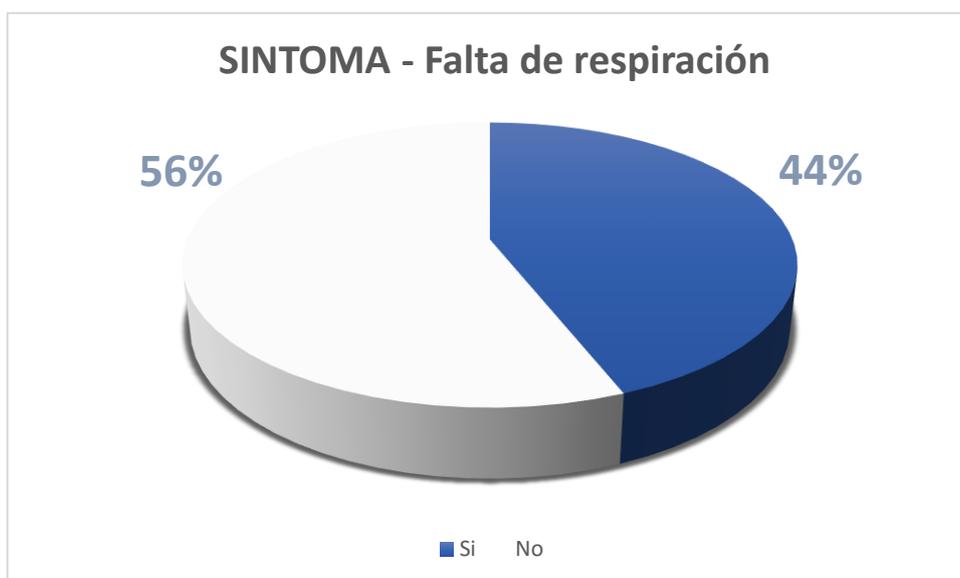


Fuente: Elaboración propia

Solo tres de los trabajadores (12%) ha desarrollado este síntoma, los mismos que en la pregunta 11 *¿Tose habitualmente con expectoración la mayoría de los días al menos 03 meses consecutivos en el año?* han respondido que Sí y llevan entre 4 a cinco años con esta complicación.

**Pregunta 9** ¿Siente que tiene disnea (dificultad para respirar) bajo las siguientes condiciones realizando las actividades diarias?

**Figura 21** Evaluación de la función pulmonar



Fuente: Elaboración propia

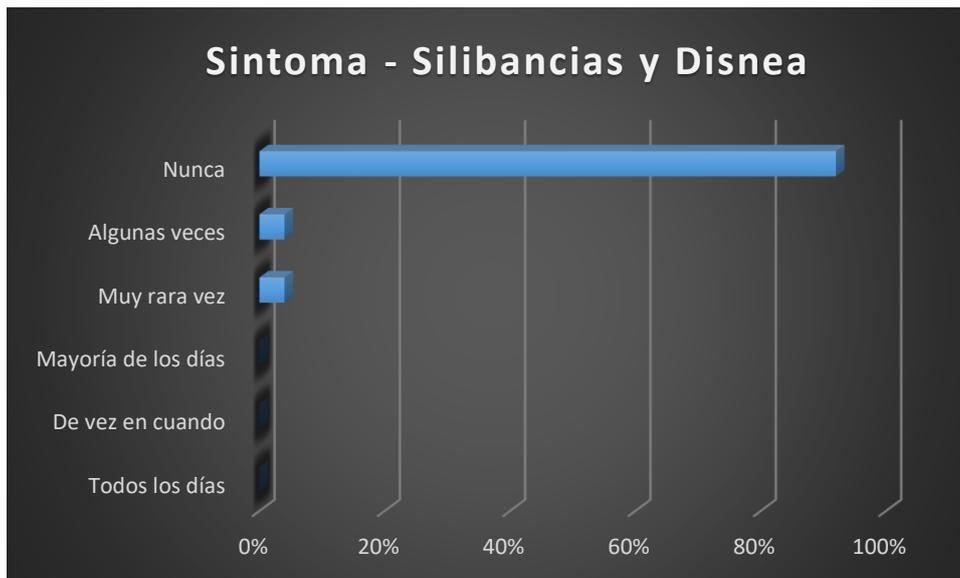
Solo el 44% presenta problemas de respiración ante ciertas condiciones, con síntomas como la falta de respiración al realizar alguna actividad física e incluso en sus actividades diarias.

**Figura 22** Evaluación de la capacidad pulmonar 1



Fuente: Elaboración propia

**Figura 23** Evaluación de sibilancias y disnea



Fuente: Elaboración propia

Los síntomas encontrados están asociados a la enfermedad pulmonar y lesión del tracto respiratorio. La mayoría no presenta síntomas cardinales como tos, producción de flema, sibilancias y disnea. Estos síntomas, los cuales, si pueden estar presentes en los trabajadores con adicción al tabaco, estando en este grupo los trabajadores que tienen disminuida su capacidad pulmonar. (Meléndez Rascón et al., 2009)

#### **4.4. Propuesta de Medidas Preventivas**

A partir del Check List de Control de Polvo ver ANEXO N°02, se evaluaron las metodologías de trabajo, se identificaron las medidas de control de ingeniería, controles administrativos encaminadas a reducir la emisión del contaminante polvo, detectar la enfermedad, la vigilancia del ambiente laboral, elaboración de documentos de administración y finalmente la selección del equipo de protección respiratoria adecuado.

##### **4.4.1. Control de Ingeniería**

###### **4.4.1.1. Primera Propuesta: Sistema de Control de Polvo por Niebla Seca**

###### ***Descripción general***

Atendiendo las necesidades de la planta por el exceso de polvo en el proceso de chancado, se determinó que el mejor método para enfrentar esta problemática sería el

método de supresión de polvo a través de niebla seca. Esto se debe a las características que brinda el sistema, en contraste a los equipos tradicionales, que producen gotas de agua de tamaño más significativo o de diversos tamaños, además de contar con materiales para su implementación disponibles en el mercado más baratos en comparación con otros productos.

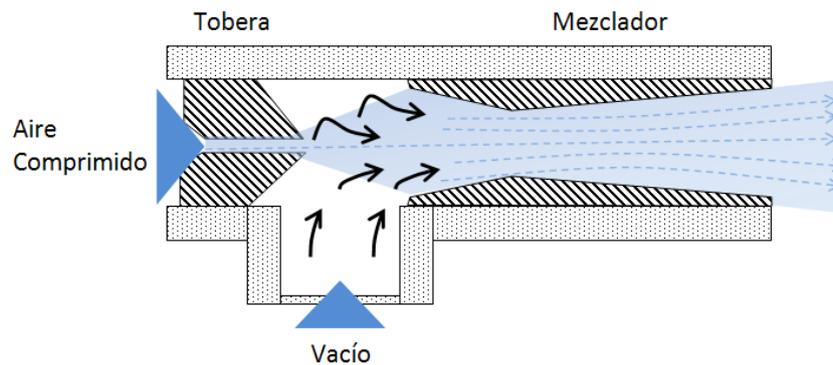
El sistema de captación de polvo se produce agregando aire comprimido, así como boquillas adecuadas y la atomización de agua, para finalmente pulverizar una gran cantidad de finas gotas de agua.

Para el desarrollo de la propuesta de implementación se ha previsto utilizar una compresora de aire 2 HP de 100 litros como fuente de aire comprimido, 1 tanque Rotoplas de 2500 litros para uso exclusivo del sistema, 6 pistolas de gravedad con boquillas de alta presión, para la entrada de flujo de aire y agua. Así mismo se recomienda que la instalación quede cerca de las zarandas vibratorias, punto principal donde se desprende mayor cantidad de material particulado.

### ***Esquema de operación del sistema***

El sistema de niebla seca se da bajo lo establecido por el efecto Venturi, que explica que el aire que viene por un ducto a una velocidad constante, y al toparse con una parte más estrecha, va a aumentar la velocidad y reducir la presión. Para tal caso, se utilizará una pistola de pulverización por gravedad de alta presión, que en su propio diseño transporta una pequeña cantidad de agua a través del aire que fluye hacia la boquilla. Las pistolas estarán conectadas con las dos vías tanto de agua como de aire ya reguladas. Para ello, el tanque de agua que abastecerá el sistema tendrá que estar por encima de las pistolas asegurando un flujo constante, a una presión obtenida por gravedad de aproximadamente 1.5 Bar (22 psi), El flujo de aire a través de la otra tubería no superará los 2 bar (29 psi).

**Figura 24 Efecto Venturi**



Fuente: Basado en Remesal (2012)

El método de trabajo de las pistolas es el siguiente: cuando se aprieta el gatillo la válvula de aire se abre ligeramente y el agua comienza a moverse a través del atomizador y el conducto de salida. Cuanto más fuerte se va apretando el gatillo, mayor es la cantidad de agua que sale y más aire se necesita para atomizar y mover el agua.

El sistema propuesto consiste en miles de gotitas microscópicas dispersas, partículas que envuelven o impactan el material particulado, resultando en la producción de partículas más pesadas, las que, por gravedad, se asientan y evitan que vuelvan a ascender.

#### ***Comportamiento de la partícula de agua***

La eliminación de material particulado (MP) se encuentra en relación al tamaño de las partículas de agua, las que determinan la efectividad de las colisiones, por lo que las partículas deben ser tan diminutas como el MP que se requiere capturar, con la finalidad de impedir el desplazamiento del aire alrededor del MP, por lo que las partículas de agua más grandes pueden movilizar el MP en el lugar de capturarlos. El siguiente gráfico nos puede explicar dicho concepto:

**Figura 25** Esquema de colisión



Fuente: Basado en el comercial Aralco (2012)

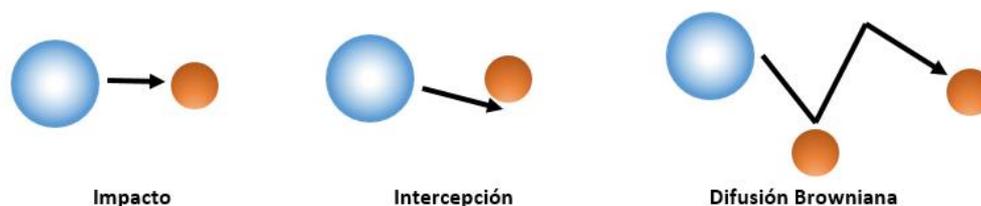
Si las partículas de agua generadas son de la dimensión idónea, se identificarán tres tipologías de colisión:

- **Directa o de impacto:** Es aquel en el que las partículas de agua impactan llanamente sobre el material.
- **Intercepción:** este impacto ocurre indirectamente y sin la necesidad que las dos partículas choquen directamente.
- **Difusión browniana:** Este impacto es la ocurrencia más común, dado que, en gran cantidad de los casos, las partículas no serán capturadas en el primer impacto, pero eventualmente serán capturadas por partículas de agua después de una serie de colisiones.

Independientemente del tipo de impacto, se espera que eventualmente ocurra la colisión.

Para comprender mejor lo expresado se exhibe la siguiente figura:

**Figura 26** Tipos de colisión



Fuente: Basado en el comercial Aralco (2012)

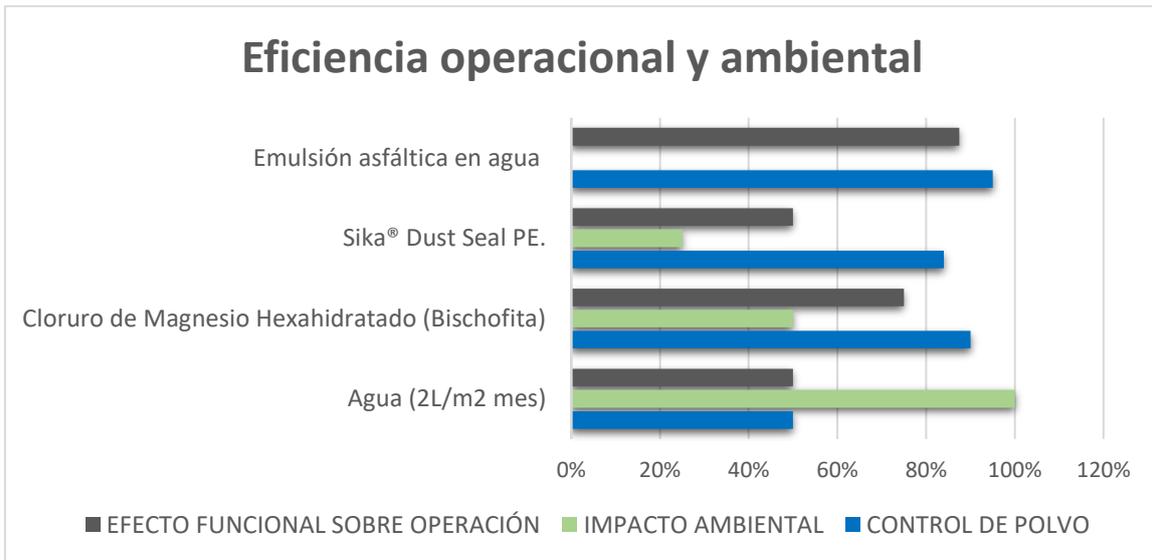
La manera habitual y más eficaz de emplear los supresores se realiza mediante una barra aspersora, graduando con inyectores o boquillas diseñadas particularmente para una cobertura eficaz del camino. La formación en la superficie podrá requerir movimiento de tierra y compactación, este dependiendo de la circulación que soportará el material de la superficie.

De las distintas medidas preventivas que se podrían aplicar para la supresión de material particulado, la niebla seca, gracias a las pequeñas gotas de agua que salen disparadas por un flujo de aire regulado, termina mostrando un diseño que se puede adaptar a la estructura actual de la planta, costando menos a comparación de otros sistemas. Estos resultados son corroborados por TEJADA ANCCO (2018), que en su tesis implementa un sistema de niebla seca para reducir la concentración de material particulado, es así que sus resultados y nuestra propuesta van determinadas a tener mucha similitud. En tal sentido, bajo lo descrito anteriormente y al analizar los posibles resultados, confirmamos que las medidas preventivas tendrían un alto porcentaje de eficiencia.

#### **4.4.1.2. Segunda Propuesta: Estabilización Química a Nivel de Carpeta de Rodado.**

La estabilización química del suelo consiste en la aplicación de una emulsión asfáltica en agua de rotura rápida, que mejora las propiedades geotécnicas del suelo; permeabilidad, durabilidad y la reducción del polvo en un 95%, la elección de la propuesta se basó en la eficiencia de la reducción de polvo, impacto ambiental, durabilidad en la operación, costos de operación y ahorro en el uso del agua. Esta alternativa no es peligrosa durante el proceso de aplicación y no tiene impactos negativos para el medio ambiente, es una práctica que lleva aplicándose aproximadamente 13 años en el Perú, logrando excelentes resultados en caminos y accesos mineros como es el caso de Hudbay, Southern Copper, Cerro verde, Volcán, las bambas y Antapacay (LIPLATA, 2013 ).

**Figura 27. Eficiencia operacional y ambiental**



Fuente: Elaboración propia

La grafica elaborada a partir de datos técnicos de Rada & Cruz (2013), evalúa la efectividad de los estabilizadores químicos para tratamiento superficial, en la reducción de polvo, eficiencia para las condiciones de operación y los impactos en el medio ambiente. De los tres supresores más económicos y adecuados en su aplicación para el tipo de operaciones de la empresa, con una circulación menor a 200 vehículos/día, la emulsión asfáltica en agua de rotura rápida es la más adecuada por ser 0% toxica para el medio ambiente, presentar 88% de compatibilidad para la operación, ser en un 5% más eficiente para el control de polvo que el MgCl<sub>2</sub> hexahidratado que tiene una eficiencia de 90%.

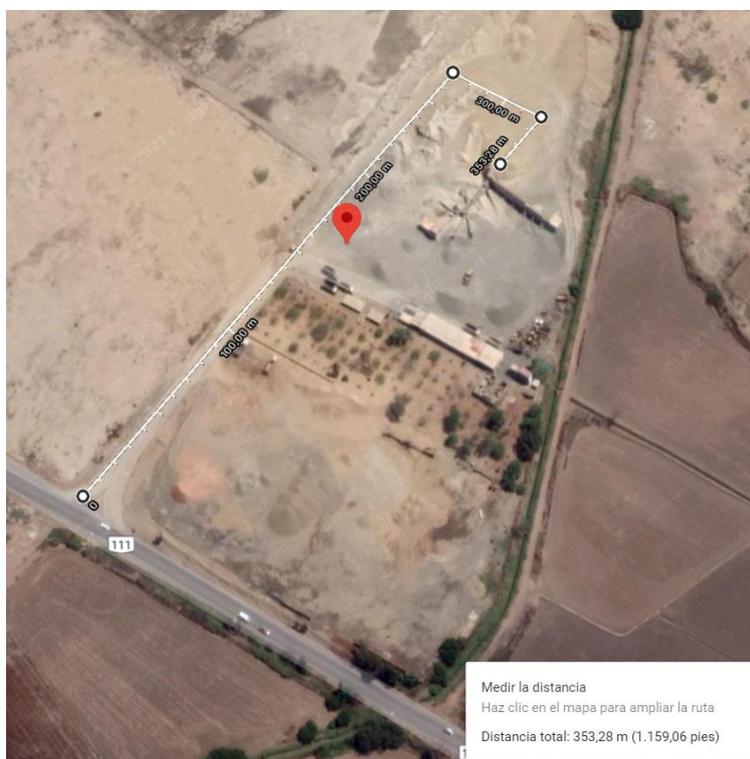
El cloruro de magnesio hexahidrato, se ofrece en el mercado peruano para caminos de alto tonelaje; tiene una probabilidad del 50% de ser apto a las condiciones ambientales del lugar y un 50% de suscitar impactos negativos al ambiente. Ambas situaciones se llegarían a originar por las precipitaciones.

#### **Proceso constructivo por tratamiento superficial**

El total de área metrada a ser tratada superficialmente con emulsión asfáltica corresponde al camino que se riega diariamente con agua para suprimir el material particulado.

El camino de acceso al punto de acopio de materia prima corresponde a 353,28 m (854,21 pies) de recorrido lineal por 10,07 m de ancho de la vía.

**Figura 28** Camino de acceso a punto de acopio



Fuente: Extraída de APP Google Maps

Se tiene una superficie de terreno no pavimentado de 3 557.53m<sup>2</sup> donde será aplicada la emulsión.

#### **4.4.2. Controles Administrativos**

##### **4.4.2.1. Estándar de Evaluación y Vigilancia de Salud de los Trabajadores**

###### **Expuestos a Sílice**

Se sugiere a partir de los hallazgos encontrados en el punto 09 del ANEXO N° 2 Check List Control de Polvo y de los factores de riesgo encontrados, la propuesta de un programa o Protocolo de actividades que contenga los estándares para la evaluación de riesgos en el ambiente de trabajo y la evaluación de la salud ocupacional de los trabajadores expuestos a sílice, asegurando que el protocolo cumpla con las directrices de la OIT, incluyendo como mínimo los siguientes componentes:

- i. Evaluación de la exposición a sílice respirable, muestreos personales y ambientales.
- ii. Concentración de sílice en muestras de polvo respirables.
- iii. Evaluación médica de los trabajadores con exámenes complementarios (radiografías de tórax según ILO 2011)
- iv. Vigilancia de la progresión de silicosis, enfermedades respiratorias, cardiovasculares y comorbilidades.
- v. Formación y sensibilización del trabajador.

Ver ANEXO N° 6 *Estándar de evaluación y vigilancia de salud de los trabajadores expuestos a sílice.*

Este Protocolo asegura el cumplimiento de las disposiciones mínimas legales para la prevención y disminución de la tasa anual de silicosis en el país. (MINSA et al., 2011). Así mismo considerando que el DS N° 024-2016- de Energía y Minas, establece que titular de la actividad minera es el responsable del cuidar y proteger la salud y seguridad de los trabajadores, por lo que deberá participar en todo el proceso y brindando las facilidades para asegurar las evaluaciones ocupacionales y la valorización del riesgo en los puestos de trabajo.

#### **4.5. Estimación del Impacto Económico**

##### **4.5.1. Presupuesto del Sistema de Control de Polvo por Niebla Seca**

Tomando como referencia que el mercado local cuenta con equipos adecuados para la implementación de la propuesta, el costo estimado a precio actual (2021) para la implementación del sistema es el siguiente:

**Tabla 8. Costo de Implementación del sistema de control por niebla seca**

<b>PRESUPUESTO</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNIT</b>	<b>TOTAL</b>
<b>SCTR</b>			
Póliza SCTR Salud y Pensión	4	s/130	S/520
<b>EXAMEN MÉDICO OCUPACIONAL</b>			
EMO (ingreso)	4	S/200	S/ 800
<b>EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL</b>			
Chaleco Gris con cinta reflectiva	4	s/ 30	S/120
Polo manga larga	4	s/21	S/84
Casco de seguridad	4	S/15.90	S/63.6
Zapato cuero punta acero	4	S/ 80	S/320
Barbiquejo	4	S/2	S/8
Lentes de seguridad luna clara	4	S/4.50	S/18
Respirador para polvo	4	S/12	S/48
Guantes de tela con palma de latex	4	S/5.90	S/23.6
<b>PROTECCIÓN COLECTIVA</b>			
Rollos cintas seguridad	4	S/25	S/100
Malla de seguridad	3	S/40	S/120
<b>MATERIALES (IMPLEMENTACIÓN)</b>			
Compresora de aire 2HP 100 Litros	1	S/1349.90	S/1349.90
Manguera reforzada ¾" x 30m	1	S/69.90	S/69.90
Pistolas de gravedad alta presión	6	S/104.90	S/629.4
Manguera de aire ¼" x 5m	6	S/41.90	S/251.4
Acoples T para manguera	1	S/150	S/150
Abrazaderas, acoples, otros	1	S/100	S/100
<b>MANO DE OBRA</b>			
Operario 1	4 días	S/120	S/480
Operario 2	4 días	S/120	S/480
Ayudante 1	4 días	S/85	S/340
Ayudante 2	4 días	S/85	S/340
<b>TOTAL</b>			<b>6.415.8</b>

Fuente: Elaboración propia

#### **4.5.2. Presupuesto de Tratamiento con Emulsión Asfáltica**

Cavada Vera (2016) evidencio en su evaluación económica que la aplicación de forma escarificada es recomendada para efectos de durabilidad y eficiencia de gastos en el mantenimiento. La misma que será aplicada al objeto de estudio.

Para tratar por primera vez los caminos de acceso, el empleador requiere de una motoniveladora de 125HP y de un rodillo liso vibratorio autopropulsado de 12TN 101-135HP, por única vez. Actualmente la empresa cuenta con camión cisterna de 7 mil litros de capacidad para el regado de la emulsión asfáltica.

Para el mantenimiento de los caminos, en un periodo aproximado de 24 meses, al utilizarse la emulsión bituminosa DMS-EB y con la realización previa de una inspección visual del mismo; solo será necesario el regado de la emulsión.

**Tabla 9** *Análisis de precios unitarios*

TRATAMIENTO SUPERFICIAL CON EMULSIÓN ASFALTICA					
Costo por	M2				
Metrado	3557.53m2				
Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Parcial	Total
<b>MAQUINARIA EQUIPO/HERRAMIENTAS</b>					
CAM. CIST. 4x2 (EMULSION+AGUA) 122HP. 2000 GL	HM	0.007	87.5	0.61	
MOTONIVELADORA 125HP	HM	0.007	93.41	0.65	
ROD.LISVIBR. AUT.12TN 101-135HP	HM	0.007	82.59	0.00	
					1.26
<b>MANO DE OBRA</b>					
CAPATAZ	HH	0.002	10.28	0.02	
OFICIAL	HH	0.007	7.7	0.05	
PEÓN	HH	0.028	6.87	0.19	
					0.26
<b>MATERIALES</b>					
ASFALTO LIQUIDO	GL	0.35	3.29	1.05	
					1.05
					2.57
<b>SUBTOTAL (1)</b>				<b>S/</b>	<b>9,142.85</b>
GASTOS FIJOS	10%	S/			914.29
G. VARRIABLES	5%	S/			457.14
UTILIDADES	10%	S/			914.29
<b>SUBTOTAL (2)</b>				<b>S/</b>	<b>11,428.57</b>
IGV	18%	S/			2,057.14
<b>TOTAL</b>				<b>S/</b>	<b>13,485.71</b>

Fuente: Capeco 2021, RM N.º 270-2020-VIVIENDA

#### 4.5.3. Presupuesto de la Implementación del Protocolo de Vigilancia

Los costos por servicios de Salud e Higiene Ocupacional se cotizaron con la clínica Salud Ocupacional SALUS LABORIS SAC, e incluyen el alquiler de equipos y viáticos del operador.

**Tabla 10** Evaluación y vigilancia de salud de los trabajadores expuestos a sílice

STAFF	2
ALMACEN	2
PERSONAL	21

<b>PRESUPUESTO</b>			
<b>VIGILANCIA AMBIENTAL</b>			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNIT	TOTAL
Evaluación de la intensidad de SCR (12 meses)	1	S/2,950.00	S/2,950.00
<b>VIGILANCIA DE LA SALUD DE LOS TRABAJADORES</b>			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNIT	TOTAL
Evaluación médico ocupacional	25	S/362.26	S/9,056.50
Radiografía de tórax (incidencia y lectura con estándares de OIT para neumoconiosis)	25	S/25.00	S/625.00
<b>EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL</b>			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNIT	TOTAL
Respirador media cara serie 6200 3M	25	S/37.07	S/926.75
Traje Tyvek	50	S/ 18.00	S/ 900.00
Filtro 2097 3M P100	25	S/20.74	S/518.50
<b>ENTREGA DE INFORMACIÓN Y SENSIBILIZACION</b>			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNIT	TOTAL
Silicosis	1	S/100.00	S/100.00
Cáncer de pulmón	1	S/100.00	S/100.00
Efectos del Tabaco	1	S/100.00	S/100.00
Importancia del diagnostico	1	S/100.00	S/100.00
Protección respiratoria	1	S/100.00	S/100.00
Difusión de medidas preventivas	1	S/100.00	S/100.00
<b>PROTECCIÓN COLECTIVA</b>			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNIT	TOTAL
Señalización de riesgos y medidas preventivas.	10	S/25	S/250
Malla de seguridad	10	S/40	S/400
<b>TOTAL DEL COSTO DEL PLAN</b>			<b>S/16,226.75</b>

Fuente: Elaboración Propia.

El gasto más significativo para la implementación de la propuesta corresponde a las evaluaciones medicas de los 25 colaboradores en respuesta a la exigencia legal de los reglamentos y normativas de seguridad y salud ocupacional del país.

#### **4.5.4. Escala de Infracciones y Sanciones para la Pequeña Minería (PPM)**

Los gobiernos regionales tienen a cargo la fiscalización y sanción de la Pequeña Minería y Minería Artesanal, mediante la Gerencia Ejecutiva de Energía y Minas, que será la autoridad competente para constatar el correcto cumplimiento de la normativa de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente. La Gerencia Ejecutiva de Energía y Minas de Lambayeque (2019) menciona que la empresa se encuentra acogida al registro Integral de Formalización Minera (REINFO).

El costo de la multa pecuniaria por infracción se calculará en base al Decreto Supremo N° 392-2020-EF, el cual estableció para el año 2021 un valor de la UIT en S/4.400.

Para efectos de fiscalización las emisiones con altas concentraciones de sílice agrupan las tres infracciones de la Tabla 13, las cuales son no establecer controles para evitar emisiones y dispersión del polvo, generar enfermedades ocupacionales, no realizar monitoreos de agentes químicos, y sobrepasar los valores de los parámetros en las normas ECA. Todas estas observaciones encontradas generarían multas desde los S/ 39,600.00 hasta un máximo de S/ 228,800.00, a estas cantidades también se le podría llegar a sumar S/. 20,000.00 por una indemnización por daños y perjuicios por enfermedad profesional, conforme al artículo 1332° del Código Civil.

El empleador debe considerar que el incumplimiento de la norma de seguridad dará el derecho a la empresa aseguradora contratada de incrementar la prima y/o aumentar los requerimientos de medidas de prevención y seguridad exigidos; o, alternativamente, resolver el presente contrato.

**Tabla 11** *Escala de infracciones y sanciones para la pequeña minería*

<b>INFRACCIÓN</b>	<b>SANCIÓN</b>	<b>COSTO</b>
Incumplir las normas de seguridad e higiene minera	2 UIT	S/ 8,800.00
Incumplir con lo establecido en el instrumento de gestión ambiental aprobado.	2 UIT	S/ 8,800.00
	25 UIT	S/110,000.00
Incumplir las normas de protección ambiental aplicables	5 UIT	S/ 22,000.00
	25 UIT	S/110,000.00
<b>Sanción pecuniaria mínima</b>		<b>S/ 39,600.00</b>
<b>Sanción pecuniaria máxima</b>		<b>S/ 228,800.00</b>

Fuente: RESOLUCION MINISTERIAL Nº 353-2000-EM-VMM

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. Conclusiones**

Las fuentes con altas emisiones de polvo encontradas están en las actividades de chancado primario, clasificación y selección del producto triturado, descarga de materia, el cambio de flujo y el transporte del material; así mismo otra fuente de emisión importante son los caminos de acceso.

Las concentraciones ambientales de los parámetros evaluados exceden los valores de referencia para calidad del aire, la intensidad másica de partículas de fracción aerodinámica respirable en el ambiente de trabajo nos da una probabilidad alta para contraer Neumoconiosis, silicosis aguda y cáncer de pulmón; al estar constituidas por altos contenidos de sílice y cuarzo en la materia prima;

Existen condiciones médicas y características individuales como la edad (76%), tabaquismo (52%), exposiciones ocupacionales (80%) y no ocupacionales (92%), afecciones cardiovasculares (56%) y disnea (44%) que incrementan el riesgo de desarrollar una fibrosis pulmonar, silicosis aguda, cáncer de pulmón y afecciones cardiacas respiratorias, enfermedades que están relacionados por causa – efecto a la exposición con el contenido elevado de sílice en el lugar de trabajo.

Las medidas más adecuadas para evitar las emisiones y la dispersión del contaminante polvo se basan en dos controles de ingeniería el Sistema de Control de Polvo por Niebla Seca y la Estabilización Química del Suelo con Aplicación de una Emulsión Asfáltica las que se pueden adaptar fácilmente al diseño del proceso y a las características de las

operaciones; así mismo son propuestas limpias que no generaran nuevos riesgos para la salud y el medio ambiente.

El Protocolo de actividades para vigilancia del ambiente de trabajo y de la salud de los trabajadores con exposición a sílice cumple con la exigencia legal del reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería, este especifica las actividades para evitar la prevalencia de enfermedades asociadas al polvo con contenido de sílice, así como el monitoreo del ambiente de trabajo.

Los costos de las medidas preventivas propuestas hacen un total de S/33,072.46 que es económicamente viable para asumir la prevención de enfermedades ocupacionales y el control de las condiciones encontradas en la primera parte de la investigación, las cuales podrían generar un impacto económico negativo estimado en S/59,600.00 que podría ascender hasta S/248,800.00 de no implementarse ningún control que evite la dispersión del polvo.

## **5.2. Recomendaciones.**

Para dar cumplimiento a la normativa ambiental vigente y a los compromisos asumidos en su Instrumento de Gestión Ambiental. Se recomienda que, a partir de datos objetivos obtenidos como la composición de la materia prima, el tiempo de exposición y las circunstancias ambientales encontradas en las actividades, implementar controles ingenieriles para asegurar que durante la operación no existan emisiones de polvo con partículas menores a 10  $\mu\text{m}$  o concentraciones de cuarzo superior a 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  o la dispersión de estas (mitigación).

Realizar una investigación con una evaluación cuantitativa para determinar la concentración de sílice en el polvo respirable, el monitoreo deberá realizarse con equipos de muestreo personal en las diferentes actividades de la empresa, se

recomienda que se realice de acuerdo con lo establecido por el estándar OSHA 1926.1153.

La empresa debe realizar de manera inmediata la evaluación por un profesional médico colegiado para el diagnóstico de las enfermedades preexistentes encontradas en los trabajadores y para la detección de silicosis.

Implementar la aplicación de emulsiones bituminosas en los caminos de las canteras o áreas de extracción, debido a que son el primordial origen de manifestación de polvo en esta zona de trabajo.

Las actividades de vigilancia, se ejecutaran por un Ingeniero de Higiene Industrial que cumpla con los requisitos del artículo 100 del RSSO, el profesional será responsable de implementar y mantener este protocolo, verificando que se lleve a cabo el monitoreo de las concentraciones de acuerdo a los procedimientos establecidos, realizar el asesoramiento para definir nuevos controles cuando existan cambios en las actividades y cuando se requiera llevara a cabo la investigación y manejo de nuevos casos de silicosis.

El titular de la actividad minera deberá priorizar la inversión en controles que reduzcan la emisión actual de polvo en la planta, de no hacerlo puede ser perjudicado con una sanción pecuniaria de hasta S/. 228,800.00 esta suma contempla la indemnización a un trabajador por haber contraído una enfermedad ocupacional ocasionada por la concentración de sílice en las emisiones, por lo cual deberá priorizar la evaluación y descarte de enfermedades vinculadas a las actividades de su empresa. El empleador también ser perjudicado en el incremento de la prima.

## **ANEXOS**

<b>ANEXO N° 1 Evaluación cualitativa de exposición.....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXO N° 2 Check List Control de Polvo .....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO N° 3 Cuestionario sobre factores de riesgo en la salud pulmonar .....</b>	<b>114</b>
<b>ANEXO N° 4 Monitoreo, prácticas de trabajo y condiciones ambientales en las operaciones. ....</b>	<b>116</b>
<b>ANEXO N° 5 MATRIZ IPERC.....</b>	<b>120</b>
<b>ANEXO N° 6 Estándar de evaluación y vigilancia de salud de los trabajadores expuestos a sílice. ....</b>	<b>126</b>

**ANEXO N° 1 Evaluación cualitativa de exposición**

Logo	<b>EVALUACIÓN CUALITATIVA DE EXPOSICIÓN</b>					
Descripción del Proceso	Trabajos en seco, de trituración, tamizado y manipulación rocas.					
Minerales	roca ígnea, areniscas cuarzosa de más de 3"					
Tipo de sílice	Cuarzo (N° CAS 1408-60-7)					
Área	Puesto de trabajo	Actividades	N° Trabajadores por Puesto de Trabajo	Jornada Semanal (hrs) (j)	Tiempo Exposición Semanal (hrs) (t)	Tiempo de Exposición Semanal (%) (t/j)x100
Almacén	Almacenero	Abastecimiento	1	48	45	93.75
	estibador	Abastecimiento	1	48	45	93.75
Taller metal mecánica	Operario tornero	Fabricación de repuestos	1	48	45	93.75
	Operario soldador	Fabricación de repuestos	2	48	45	93.75
	Ayudante	Fabricación de repuestos	1	48	45	93.75
Taller de maquinaria pesada	Supervisor de equipos y maquinaria	Mantenimiento de equipos	1	48	48	100
	Mecánico(s) maquinaria pesada	Mantenimiento de equipos	2	48	48	100

Soldadura	Soldador	Reparación y Montaje	3	48	45	93.75
	Electricista	Mantenimiento	1	48	45	93.75
Chancado	Operario de cargador frontal	Abastecer material	1	48	48	100
	Vigía	vigilar trituradoras	1	48	48	100
	Operarios	Mantener el funcionamiento del proceso	1	48	48	100
Torre de control	Supervisor de Operaciones	Vigilar el proceso	1	48	48	100
Producción	Jefe de Operaciones	Administrar las operaciones	1	48	35	72.92
Comercial	Ventas	venta de agregados	2	48	24	50
Mantenimiento de Planta	Limpieza	Limpieza de planta y oficinas	2	48	48	100
	Soporte de planta y operadores.	Mantenimiento de Planta	2	48	48	100
	Abastecedor de combustible	Abastecer D2 a los equipos	1	48	48	100
<b>TOTAL TRABAJADORES EXPUESTOS</b>			<b>25</b>			

## ANEXO N° 2 Check List Control de Polvo

	<b>CHECK LIST CONTROL DE POLVO</b>		MC-SSMA-E16-FR03		
			Ver. 00	Fecha: 09/12/2019	
	Página 1 de 1				
<b>EMPRESA:</b>	Tratamiento de información no consentida	<b>CATEGORIA</b>	Pequeña Minería		
<b>ACTIVIDAD (ES)</b>	Trituración, clasificación, transporte y manipulación de rocas.	<b>MATERIA PRIMA</b>	Roca ígnea de Cantera		
<b>CONTROLES INGENIERILES</b>					
<b>ELEMENTOS A INSPECCIONAR</b>	<b>Recomendación</b>		<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>N.A</b>
1. ¿La tolva es de capacidad igual o mayor al tonelaje a pasarse por día?	Evaluar el diseño de la infraestructura y la instalación, para abastecer directamente con los volquetes, sin la intermediación del cargador. Seleccione tolvas con mayor capacidad de procesamiento y recepción (Tm/día)			X	
2. ¿El proceso emplea hasta 01 quebrantadora por nivel de chancado primario, secundario y terciario?	Cada nivel de chancado debe realizarse con el menor número de fuentes de polvo. Se debe evaluar el uso de trituradoras cónicas que reduzcan las fases de reducción del mineral.		X		
3. ¿La trituración primaria se efectúa en una sola quebrantadora de suficiente capacidad?	Cada nivel de chancado debe realizarse con el menor número de fuentes de polvo. Se debe evaluar el uso de trituradoras cónicas que reduzcan las fases de reducción del mineral		X		
4. ¿La abertura de carga de las trituradoras es mayor a la capacidad actual?	Los equipos instalados en el proceso deben responder a demandas futuras de procesamiento de minerales.			X	
<b>5. ¿Los subprocesos en los cuales existen emisiones de polvo, se encuentran en áreas bien ventiladas; cuentan con colectores de polvo o se procede a humectar para reducir la emisión?</b>	Cuando existan concentraciones ambientales peligrosas de polvo, instale sistemas de captación local forzada para aislar las fuentes de emisión.  Implemente un sistema que le permita suministrar agua nebulizada para la supresión de polvo en la trituradora y otros puntos donde se genera polvo.			X	

5.1. ¿Se han aislado o segregado las operaciones que por su naturaleza sean fuentes de contaminación de polvo de sílice?	Las fuentes de polvo con contenido de sílice libre cristalina o cuarzo deben permanecer confinadas, para evitar la suspensión y dispersión en el ambiente de trabajo.		X	
5.2. ¿Las operaciones de quebrantamiento, tamizado, transporte y cambios de nivel en el flujo de los materiales, han sido confinadas y encerradas para impedir el escape de partículas de polvo?			X	
5.3. ¿Se realiza el humedecimiento de los materiales en el alimentador principal?	Implemente de forma inmediata un sistema que le permita suministrar agua nebulizada para la supresión de polvo en la trituradora y otros puntos donde se genera polvo.		X	
5.4. ¿Se realiza el humedecimiento de los materiales en la alimentación al quebrantamiento, y descarga de las quebrantadoras?			X	
5.5. ¿Se realiza el humedecimiento de los materiales en la Criba Vibratoria?			X	
5.6. ¿Se realiza el humedecimiento de los materiales en la Quebrantadora secundaria, carga y descarga?			X	
5.7. ¿Se humedecen los puntos de acopio, para evitar que por efectos del viento se generen poluciones toxicas?			X	
5.8. ¿Se realiza el humedecimiento de los materiales en los puntos de descarga?			X	
6. ¿En los sistemas de colección de polvo o sistemas de ventilación se emplean filtros auto limpiantes?	En los sistemas de colección de polvo por filtración de aire, deben usarse filtros con una eficiencia superior al 99% con un mecanismo autolimpiante para evitar la manipulación del material particulado o polvo inhalable.		X	
7. ¿Los filtros de colección de polvo retienen partículas de polvo <5µm?			X	
<b>8. ¿El tránsito de volquetes, maquinarias y vehículos genera emisiones de polvo al ambiente?</b>			X	

8.1 ¿Se aplican supresores o aglomerantes de polvo para la estabilización química de las vías de tránsito de maquinaria y vehículos pesado?	Seleccionar un supresor bituminoso eficiente en el control de polvo, que no genere impactos ambientales negativos y que se adecue a la operación en caminos mineros.		X	
<b>CONTROLES ADMINISTRATIVOS</b>				
<b>ELEMENTOS A INSPECCIONAR</b>	<b>Recomendación</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>N.A</b>
<b>09. ¿La empresa ha incorporado a su PLAN DE SALUD OCUPACIONAL procedimientos específicos para realizar la vigilancia de silicosis y la vigilancia de las concentraciones de sílice?</b>	Incorporar al PSSO de la empresa Procedimientos para la vigilancia médica ocupacional de los trabajadores expuestos a sílice. Procedimientos para la evaluación de riesgos en los puestos de trabajo con presencia de sílice.		X	
9.1 ¿Se realizó la difusión de las medidas adoptadas para prevenir la Silicosis y sus efectos en la salud ?	Hacer la difusión de todas las medidas preventivas que se adoptaran durante la exposición a polvo de sílice. Procedimientos, estándares, IPERC y Otros.		X	
9.2. ¿Se han incluido en el Programa de Salud Ocupacional las acciones para la prevención y vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos a sílice?	El programa de Salud Ocupacional debe incluir las acciones dirigidas a la prevención y vigilancia de los trabajadores expuestos a Sílice, indicando la fecha, recursos y responsable.		X	
9.3. ¿Existe señalética que prohíba fumar y consumir alimentos en los puestos de trabajo?	En los puestos de trabajo debe estar visible la prohibición de fumar y consumir alimentos en los puestos de trabajo. Esta medida deberá estar contemplada en el Reglamento Interno de SST.		X	
9.4. ¿El Reglamento interno de SST contiene los estándares y procedimientos para controlar las exposiciones a sílice?	El reglamento interno de SST debe contener los estándares y procedimientos para controlar la exposición a sílice libre cristalizada o cuarzo.		X	

9.5. ¿Los trabajadores han sido capacitados acerca de las enfermedades que les puede ocasionar la inhalación de polvo de sílice y de las medidas preventivas para cada puesto de trabajo?	Se debe elaborar los procedimientos para las operaciones donde exista el riesgo de exposición a polvo de sílice		X	
<b>10. ¿Se han elaborado estándares para realizar la eliminación del polvo sedimentado y acumulado en a las instalaciones de la planta?</b>	Establecer los estándares de seguridad en todas las actividades de limpieza, que se ejecutan para mantener las instalaciones libres de polvo sedimentado.		X	
10.1. ¿Se realiza la limpieza de las instalaciones de la planta al finalizar el turno de trabajo?	Implementar un registro para el control de la limpieza diaria. Aplicar agua y hacer uso de respiradores con filtros P100 o N95.		X	
10.2. ¿Se humedece el área durante la limpieza de escaleras, corredores, veredas y demás áreas donde exista polvo sedimentado?	Durante las labores de recojo y barrido, aplique agua para la supresión de polvo. Es obligatorio el uso de respiradores con filtros P100		X	
11. ¿Se realiza la limpieza de la ropa de trabajo y equipos de seguridad personal sin generar riesgos para el trabajador?	Retirar el polvo de la ropa de trabajo al concluir la actividad empleando una aspiradora, para lo cual se debe asignar un área donde los trabajadores puedan aspirar el polvo acumulado de su ropa de trabajo. Se identificará el área y se colocará las instrucciones para que se realice de forma adecuada.			X
12. ¿Se identifican y se advierte sobre los riesgos por exposición a sílice?	Hacer uso de señalizaciones que indique el uso obligatorio de EPP, señales de advertencia sobre el peligro de sílice y los efectos de su exposición.		X	
<b>PROTECCIÓN RESPIRATORIA</b>				
<b>ELEMENTOS A INSPECCIONAR</b>	<b>Recomendación</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>N.A</b>

<b>13. ¿El personal se encuentra libre de signos evidentes de la exposición a polvo de SCR, tales como acumulación polvo en el rostro y en la ropa de trabajo?</b>	Implementar el uso de respiradores de media cara con filtros P100 y lentes para protección contra riesgos químicos.		X	
13.1. ¿En las operaciones con exposición a polvo de SCR, se hace uso respiradores de media cara con filtros P100 junto a otro EPP que evite el contacto con el polvo?	Solo para cuando la concentración de sílice sea hasta 5 mg/m3 y no exista otro agente químico inhalable en la actividad se puede seleccionar un respirador de media cara con filtros P100, aprobados por NIOSH, ANSI, o cualquier otra norma que contemple estándares superiores para la protección.	X		
13.2. ¿Se ha capacitado al trabajador en el uso correcto, almacenamiento, limpieza y pruebas de ajuste?	Elaborar un Programa de protección respiratoria que contenga procedimientos para el uso adecuado, mantenimiento, cambio y eliminación de cartuchos, filtros y respiradores. Entrenar al trabajador para que haga buen uso del EPP.		X	
13.3. ¿Se ha registrado la entrega y cambio del respirador y filtros para cada trabajador, bajo qué criterio se realiza la renovación de los equipos?	Elaborar un Programa de Protección respiratoria que contenga los procedimientos que permitan establecer los criterios para la reposición de respiradores y filtros. Mantener los Registros de entrega o Kardex de EPP.	X		
13.4. ¿Se realizan inspecciones para asegurar el buen uso de la protección respiratoria?	Incluir en el Programa de Protección Respiratoria un cronograma de inspección de EPP.	X		

Fuente: Adaptado del Instituto de Salud Pública de Chile, *Protocolo de vigilancia del ambiente de trabajo y de la salud de los trabajadores con exposición a sílice*. Anexo N°10, Ficha de Evaluación Cualitativa. Las recomendaciones están formuladas de acuerdo a la norma OSHA 1926.1153, *Sílice cristalina respirable*.

## ANEXO N° 3 Cuestionario sobre factores de riesgo en la salud pulmonar

### CUESTIONARIO SOBRE FACTORES DE RIESGO ASOCIADOS A LA EXPOSICIÓN

#### A SÍLICE

Edad :

Puesto de trabajo :

Sexo :

Tiempo de servicio :      1 – 5 años                      5 – 10 años                      Más de 10 años

#### Condición de fumador.

**1. ¿Fuma usted actualmente o ha fumado en el pasado?**

Sí, fumo actualmente/ahora

Sí, fumé anteriormente pero ya lo dejé, \_\_\_\_\_

No, jamás he fumado o usado tabaco (siga con la pregunta #5)

#### Exposición ambiental no laboral

**2. ¿En el lugar donde vive existe alguna de estas fuentes de contaminación atmosférica tráfico, fabricas, industria, polvo, cenizas, etc.? ¿O ha vivido en algún lugar con estas características de contaminación excesiva?**

Si, años

No

#### Historial de exposición ocupacional.

**3. ¿Estuvo expuesto a emisiones de polvo, humos, vapores o gases anteriormente en alguna de sus tres últimas ocupaciones?**

Sí

No

**4. Escriba sobre las líneas el tiempo que laboro en alguna de estas industrias que se mencionan a continuación:**

Mina	Si	No	(años)
Cantera	Si	No	(años)
Metal mecánica	Si	No	(años)
Soldadura	Si	No	(años)
Molinos	Si	No	(años)
En cualquier trabajo con gases, polvo, vapores o humos.	Si	No	(años)

5. ¿Se le ha diagnosticado o ha recibido tratamiento para alguna de las siguientes enfermedades?

Asma	Bronquitis crónica	Cáncer
Enfermedad cardiaca (al corazón)	Enfermedad pulmonar laboral	Enfermedad pulmonar Obstructiva
Alergia	Presión arterial elevada	Diabetes

### Síntomas

6. ¿Usted tose frecuentemente durante el día o tiene expectoración por lo menos cuatro días o más a la semana?

Si

No (siga con la pregunta 15)

7. ¿Tose la mayoría de los días por lo menos tres meses consecutivos en el año?

Si

No

8. ¿Cuántos años hace que tiene tos y flema? \_\_\_\_\_ (años)

### Otros Síntomas:

9. ¿Siente que tiene disnea (dificultad para respirar) bajo las siguientes condiciones realizando las actividades diarias?

Descansando	Si	No
Caminando	Si	No
Actividades diarias	Si	No
Subiendo escaleras	Si	No
Realizando actividad física	Si	No

10. ¿Alguna vez siente el pecho apretado o hace algún silbido a la vez que tiene dificultad en respirar? (marque solo una respuesta)

Todos los días	Mayoría de los días	Algunas veces
De vez en cuando	Muy rara vez	Nunca

**¡Gracias por contribuir en la investigación de factores de riesgos!**

**ANEXO N° 4 Monitoreo, prácticas de trabajo y condiciones ambientales en las operaciones.**

**Figura 29** Respiradores de media cara con doble cartucho / filtros 6003 Aprobado por NIOSH



Fuente: Cortesía de la empresa.

**Figura 30** Monitoreo de partículas menor a 5.0 micrómetros



Fuente: Cortesía de la empresa con equipos de monitoreo de agentes químicos (UTP).

**Figura 31** Fuente de emisión: Trituración en la mandíbula primaria



Fuente: Cortesía de la empresa.

**Figura 32** Polvo sedimentado en instalaciones, dispersión por vibraciones.



Fuente: Cortesía de la empresa.

**Figura 33** Fuente de emisión: Camino de Rodadura



Fuente: Cortesía de la empresa.

**Figura 34** Fuente de emisión: Zaranda y cambios de nivel de flujo del material



Fuente: Cortesía de la empresa.

**Figura 35** *Parámetros ambientales de monitoreo*



Fuente: Tomado equipos de monitoreo de agentes químicos (UTP).

**Figura 36** *Presión barométrica (mmHg)*



Fuente: Tomado equipos de monitoreo de agentes químicos (UTP).

**Figura 37** *Polvo sedimentado en las instalaciones*



Fuente: Cortesía de la empresa.

**Figura 38** *Emisión de polvo en fajas transportadoras.*



Fuente: Cortesía de la empresa.

### ANEXO N° 5 MATRIZ IPERC

Área	Proceso	Tarea	Peligros	Riesgos	Evaluación de Riesgos						CONTROLES			
					Probabilidad (P)					Nivel Severidad (S)	Clasificación de Riesgo (P x S)	Controles de Ingeniería	Control Administrativo	EPP
					A	B	C	D	Nivel de Probabilidad (A+B+C+D)					
Almacen	Entrada y Salida de herramientas, repuestos e insumos.	Almacenamiento de valdes y cajas	Sobre almacenamiento en altura de 2m	Caída de objetos a distinto nivel	1	3	3	3	10	1	10	Aseguramiento de objetos en altura, y disminución de 0	-	-
		almacenamiento de oxígeno sin aseguramiento	rompimiento de valvulas de seguridad por caída de cilindros	proyeccion del cilindro a Km/h por liberacion de gas comprimido.	1	3	3	3	10	3	30	aseguramiento colectivo de cilindros para evitar caidas	Almacenar cilindros con tapas de seguridad	-
		almacenamiento de combustible	Inflamable y Explosivo	incendio	1	3	3	3	10	3	30	-	aislamiento de tanques y cilindros del almacen, prohibir hacer fuego	-
		almacenamiento de thiner												
		Gas de acetileno												
		Aceite												
		Hidrolina												

Taller de Maquina y Herramientas (Torno)	Torneado ( 1.50m - 1.80m)	Fabricacion de piezas	Descarga Electrica de 440V	Electrocución	2	2	2	3	9	3	27	Sistema de puesta a tierra con piso no conductor	Capacitación al personal	-
			Desprendimiento de particulas	Lesión en los ojos.	2	1	1	3	7	3	21	-	-	Uso obligatorio de lentes de seguridad
			Manipulación de cargas (rodillos de 12")	Golpes, Chancones, Dolores de espalda.	2	3	2	2	9	2	18	-	Capacitación al personal en levantamiento de cargas	Guantes y Zapatos punta de acero
			Residuos de Viruta	Cortes	2	2	2	3	9	1	9	-	Regular la velocidad de la maquina	Lentes, Guantes, Careta
			Calentamiento de piezas	Quemaduras	2	2	2	3	9	1	9	-	-	Guantes
			Platos de garras	atrapamientos y golpes	2	3	2	3	10	2	20	Guardad de seguridad abisagrada	-	-
	Rellenado de pines con soldadura, rellano de quijadas.		Descarga Electrica de 440V	Electrocución	2	2	2	3	9	3	27	Sistema de puesta a tierra con piso no conductor	Capacitación al personal	-
			Piezas Calientes	quemaduras de primer grado.	1	2	2	3	8	1	8	-	-	Guantes
			Humos metalicos	el sistema nervioso e includ	1	3	3	3	10	3	30	-	reducir las horas de exposicion	-
	Taladro de Poste	Taladrado	Descarga Electrica de 220V	Electrocución	1	2	2	2	7	2	14	-	-	base aislante con el suelo
			Brocas	cortes y atrapamientos	1	2	2	3	8	1	8	Guardas de seguridad fija		
	Cepillo	Hacer Canales Chaveteros, cepillado de valvulas.	Ruido	Perturbaciones, lesiones auditivas y alteraciones del sistema nervioso	2	2	2	3	9	3	27			Protectores auditivos personales de acuerdo con AS / NZS 1269.3
			desprendimiento de astillas	cortes	1	2	2	3	8	1	8			Guantes

Taller de Maquinaria Apesada	Mantenimiento preventivo	Cambio de aceite de motor (250 Horas)	Fosa	Caidas, golpes y fracturas	2	3	2	2	9	2	18	-	Capacitación Primeros Auxilios	Guantes y Zapatos punta de acero
		Cambio de aceite de motor (250 Horas)	Escaleras de acceso	Caidas, golpes y fracturas	2	3	2	2	9	2	18	Modificar escalones	Capacitación Primeros Auxilios	Guantes y Zapatos punta de acero
		Cambio de aceite de motor (250 Horas)	derrames de aceites/piso resbaladizo	Caidas, golpes y fracturas	2	3	2	2	9	2	18	-	Capacitación Primeros Auxilios	Guantes y Zapatos punta de acero
		Cambio de aceite de motor (250 Horas)	Objetos fijos (chasis)	Caidas, golpes y fracturas	2	3	2	2	9	2	18			
		Sistema Hidraulico (2000 h)	fuga de aceite	Caidas, golpes y fracturas	2	3	2	2	9	2	18	-	Capacitación Primeros Auxilios	Guantes y Zapatos punta de acero
	atrapamientos		Fracturas	2	3	2	2	9	2	18		ATS		
	desprendimiento de mangueras		Lesiones y cortes	2	3	2	2	9	3	27		PROCEDIMNETO DE ATENCION DE VICTIMAS		
	Reparación	cambio de Pines y bocinas	fuga de aceite	Caidas, golpes y fracturas	2	3	2	2	9	2	18	-	Capacitación Primeros Auxilios	Guantes y Zapatos punta de acero
			atrapamientos	Fracturas	2	3	2	2	9	2	18		ATS	
			desprendimiento de mangueras	Lesiones y cortes	2	3	2	2	9	3	27		PROCEDIMNETO DE ATENCION DE VICTIMAS	

Chancado	Recepción y Almacenamiento de la materia prima	Descarga de rocas	Emission de MP	Enfermedades respiratorias	1	2	2	3	8	3	24			RESPIRADORES P100 DE MEDIA / FILTROS CONTRA PARTICULAS Y ACEITES
	Recepción y Almacenamiento de la materia prima	Descarga de rocas	Ruido Impulsivo (Impacto de rocas)	Perturbaciones, lesiones auditivas y alteraciones del sistema nervioso	1	2	2	3	8	3	24			Protectores auditivos personales de acuerdo con AS / NZS 1269.3
	Conminución	Trituración en la mandibula primaria	vibración y ruido	Alteración del sistema nervioso	2	2	2	3	9	3	27			Protectores auditivos personales de acuerdo con AS / NZS 1269.4
	Conminución	Trituración en la mandibula primaria	Emission de MP	Enfermedades respiratorias	3	3	2	3	11	3	33			RESPIRADORES P100 DE MEDIA / FILTROS CONTRA PARTICULAS Y ACEITES
	Conminución	Transporte de La roca triturada a través de Fajas Transportadoras	Emission de MP	Enfermedades respiratorias	3	3	2	3	11	4	44			RESPIRADORES P100 DE MEDIA / FILTROS CONTRA PARTICULAS Y ACEITES
	Cribado	Selecion de la piedra triturada. Zaranda Vibratoria	vibración y ruido	Alteración del sistema nervioso	2	2	2	3	9	3	27			Protectores auditivos personales de acuerdo con AS / NZS 1269.4
	Cribado	Selecion de la piedra triturada. Zaranda Vibratoria	Emission de MP	Enfermedades respiratorias	3	3	2	3	11	3	33			RESPIRADORES P100 DE MEDIA / FILTROS CONTRA PARTICULAS Y ACEITES
	Conminución	Chancado final del producto semi Triturado(CHANCADOR CONICO)	vibración y ruido	Alteración del sistema nervioso	3	3	2	3	11	3	33			Protectores auditivos personales de acuerdo con AS / NZS 1269.5
	Conminución	Chancado final del producto semi Triturado(CHANCADORA PYZ)	Emission de MP	Enfermedades respiratorias	3	3	2	3	11	3	33			RESPIRADORES P100 DE MEDIA / FILTROS CONTRA PARTICULAS Y ACEITES
	ALMACENAMIENTO	Descarga de faja	Emission de MP	Enfermedades respiratorias	3	3	2	3	11	3	33			RESPIRADORES P100 DE MEDIA / FILTROS CONTRA PARTICULAS Y ACEITES

Taller de soldadura	Fabricación y Reparación de Piezas (Mallas, Polines, Fierros, Muelas, Ejes, Etc.)	Cortes con Oxicorte	caída de piezas	golpes					0		0			
			caídas de botellas de gas y oxígeno durante su transporte y utilización	que se rompa la válvula del oxígeno					0		0			
			elementos cortantes, punzantes, etc; en el suelo	cortes y caídas					0		0			
			Obstaculo en zonas de paso (cables, piezas y herramientas)	caída al mismo nivel y golpes con objetos punzantes.					0		0			
			posturas forzadas	lesiones musculares	1	3	3	3	10	2	20		Adecuar el trabajo y capacitación al trabajador	
		Soldadura Con Electrodo (Supercito E-7018 - 1/8 5/32) (Sellocord - Punto Azul E-6011 - 1/8)	Electricidad	Electrocución	1	2	2	2	7	2	14	Aterrado y llave diferencial	ATS	
			contacto con los objetos calientes que se estan soldado	quemaduras	2	2	2	3	9	1	9	-	-	Guantes
			Humos metalicos	Daños a las vías respiratorias, los pulmones y el sistema nervioso e incluso provocar cáncer. Los daños son muy graves	1	3	3	3	10	3	30	-	reducir las horas de exposicion	-
			utilizacion de equipos de soldadura electrica	Electrocución	1	2	2	2	7	2	14	Aterrado y llave diferencial	ATS	
			Proyección de Chispa y Particulas.	quemaduras	2	2	2	3	9	1	9	-	-	Guantes

Torre de control	CONTROL DE MAQUINAS	Monitoreo de procesos	Trabajo de alta atención permanente	estrés mental	1	3	3	3	10	2	20		Pausas activas	
			trabajo repetitivo	lesiones musculares	1	3	3	3	10	2	20		Pausas activas	
			Mobiliario inadecuado y puesto de trabajo mal diseñado	lesiones musculares	1	3	3	3	10	2	20		Adecuar el trabajo y capacitación al trabajador	
		ENERGIZACIÓN/ACTIVACION DE EQUIPOS	Tablero General de 440V	muerte por descarga eléctrica	1	3	3	3	10	2	20		Piso aislante y sistema de puesta a tierra	ROPA DE TRABAJO DIELECTRICA
			AUSENCIA DE PROCEDIMIENTO PARA LA ACTIVACION DE ENERGIAS PELIGROSAS	muerte por descarga eléctrica	1	3	3	3	10	3	30		PROCEDIMIENTO PARA LA ACTIVACION DE ENERGIAS PELIGROSAS	

**ANEXO N° 6 Estándar de evaluación y vigilancia de salud de los trabajadores  
expuestos a sílice.**

**PROPUESTA:**

**EVALUACIÓN Y VIGILANCIA DE SALUD DE LOS  
TRABAJADORES EXPUESTOS A SÍLICE  
“Minería y Chancado de Minerales”**

<b>ELABORADO</b>	<b>REVISADO</b>	<b>APROBADO</b>
SALUD OCUAPCIONAL	SSOMA	TITULAR DE LA ACTIVIDAD MINERA
<b>Firma(s):</b>	<b>Firma(s):</b>	<b>Firma(s):</b>
		<b>FECHA DE VIGENCIA;</b>

	<b>ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN Y VIGILANCIA DE SALUD DE LOS TRABAJADORES EXPUESTOS A SÍLICE</b>	<b>SGSST-MIN-01-20</b>	
		Ver. <b>00</b>	Fecha: <b>24/08/2020</b>
		Página <b>127</b> de <b>148</b>	

### INDICE DE VERSIONES

VER	FECHA	MODIFICACIONES
00		
01		
02		

	<b>ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN Y VIGILANCIA DE SALUD DE LOS TRABAJADORES EXPUESTOS A SÍLICE</b>	<b>SGSST-MIN-01-20</b>	
		Ver. <b>00</b>	Fecha: <b>24/08/2020</b>
		Página <b>128</b> de <b>148</b>	

## **INTRODUCCIÓN**

En la planta chancadora de agregados para la construcción existe un potencial riesgo de adquirir silicosis, enfermedad causada por Sílice o cuarzo, el cual es el mayor componente en la materia prima tritura en las operaciones.

En el año 2011, en el marco del **Programa Global de Eliminación de la silicosis de OMS/OIT**, la Dirección de Salud Ocupacional (DSO) de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) ha elaborado el **Plan Nacional para la Erradicación de la Silicosis en el Perú al 2030**, el cual aplica en todos los sectores públicos y privados del país

En cumplimiento de la normativa de seguridad y salud en el trabajo DS N° 024-2016-EM es necesario implementar controles ingenieriles y administrativos para prevenir enfermedades ocupacionales como silicosis y neumoconiosis siguiendo lo establecido por la OIT en la evaluación de la salud. En el presente protocolo se establecen los procedimientos para efectuar monitoreos personales o representativos de las concentraciones de sílice y polvo priorizando la identificación de puestos de trabajo con altos niveles de exposición, en los cuales se verificará que no se exceda los valores de referencia del DS N° 015-2005-SA y cualquier otra norma que permita evaluación y el control de los riesgos.

El protocolo estipula los estándares mínimos que deben ser incorporados por los servicios encargados de realizar la vigilancia epidemiológica de silicosis. Considerando que la empresa es responsable de cuidar y proteger la salud y seguridad de los trabajadores, participara en todo el proceso, brindando facilidades para realizar las evaluaciones de salud de los trabajadores para que puedan rendir los citados exámenes.

	<b>ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN Y VIGILANCIA DE SALUD DE LOS TRABAJADORES EXPUESTOS A SÍLICE</b>	<b>SGSST-MIN-01-20</b>	
		Ver. <b>00</b>	Fecha: <b>24/08/2020</b>
		Página <b>129</b> de <b>148</b>	

### **1. OBJETIVO**

Establecer los lineamientos para efectuar la vigilancia de la salud y la evaluación de riesgos en los puestos de trabajo para prevenir la silicosis y sus efectos.

### **2. ALCANCE Y DIFUSIÓN**

Es de aplicación y difusión obligatoria en todos los puestos de trabajo con riesgo de exposición a sílice.

### **3. DEFINICIONES**

Para los efectos de aplicación:

- a) Polvo de Sílice Cristalina Respirable:** Son todas las partículas de tamaño respirable de cuarzo, sílice, tridmidita, y cristobalita que se encuentran suspendidas en el ambiente de trabajo
- b) Kardex de entrega de EPP:** Formato usado para el registro de entrega de equipo de protección personal.
- c) Exposición ocupacional:** Es la concentración de un agente químico en el aire de la zona de respiración del trabajador, para un promedio de tiempo de 8 horas de trabajo (TWA). En este protocolo se hará referencia a la exposición por inhalación.
- d) Valor Límite Permissible - Media Ponderada en el Tiempo (TLV- TWA):** Valor de referencia para la Media Ponderada en el Tiempo (TWA). Los TLV-TWA son las condiciones en las cuales generalmente los trabajadores pueden exponerse durante 8 horas diarias y 40 horas semanales, sin que se produzcan afecciones a la salud. Para concentraciones de sílice no se deben superar los 0.05 mg/m<sup>3</sup>.
- e) Actividades con riesgo de exposición:** Aquella donde se produce las mayores emisiones de sílice cristalina respirable.
- f) Evaluación Radiológica de Tórax:** Es el examen complementario específico para actividades extractivas con presencia de polvo de sílice para ayudar al diagnóstico ocupacional.
- g) Muestreo representativo:** Se realiza para evaluar exposiciones en un grupo de trabajadores identificados en un puesto de trabajo, durante un mismo turno o tiempo de exposición. Se puede realizar ubicando el Tren de Muestreo en un lugar fijo, manteniendo el Cabezal de Muestreo a la altura de la zona respiración o tomando una muestra en el empleado que se espera que tengan un nivel de exposición más alto.

	<b>ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN Y VIGILANCIA DE SALUD DE LOS TRABAJADORES EXPUESTOS A SÍLICE</b>	<b>SGSST-MIN-01-20</b>	
		Ver. <b>00</b>	Fecha: <b>24/08/2020</b>
		Página <b>130</b> de <b>148</b>	

- h) Muestreo de Tipo Personal:** Se emplea una bomba de muestreo ubicado a la altura de la zona respiración personal para evaluar los niveles de exposición.
- i) Riesgo Residual:** Es el riesgo que se encuentran en el lugar de trabajo luego de la implementación de controles ingeniería el cual se cubrirá con equipos de protección personal.
- j) Tren o bomba de Muestreo:** Equipo portátil de muestreo de material particulado y agentes químicos inhalables compuesto por una bomba de aspiración que se conecta a través de una manguera a un cabezal de muestreo (ciclón y porta filtro).

#### **4. SUSTENTO LEGAL**

El presente Estándar, se ha realizado en base lo indicado en las siguientes normas:

- Ley N° 29783. Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- Decreto Supremo N° 005-2012-TR. (Reglamento de la Ley N° 29783) y sus modificatorias D.S. N°006-2014 TR y D.S. N°016-2016 TR.
- Decreto Supremo N°024-2016-EM. (Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería) y su modificatoria D.S. N°023-2017-EM.
- Resolución Ministerial N° 312-2011 / MINSA (“Protocolos de Exámenes Médicos Ocupacionales y Guías de Diagnóstico de los Exámenes Médicos Obligatorios por Actividad”) y sus modificatorias R.M. N°004-2014-MINSA y R.M. N°571-2014-MINSA.
- Resolución Ministerial N° 021-2016/MINSA Aprueban el perfil de competencias del médico ocupacional.
- D.S. N° 015-2005-SA Valores límite máximo permisibles de agentes químicos en el ambiente de trabajo.
- OSHA 1926.1153. Sílice cristalina respirable
- DIGESA; Plan Nacional para la Erradicación de la Silicosis en el Perú al 2030

#### **5. RESPONSABILIDADES**

##### **4.1. Titular de la actividad minera**

- a) Es el responsable de asegurar la disposición de recursos para la implementación del presente protocolo.

	<b>ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN Y VIGILANCIA DE SALUD DE LOS TRABAJADORES EXPUESTOS A SÍLICE</b>	<b>SGSST-MIN-01-20</b>	
		Ver. <b>00</b>	Fecha: <b>24/08/2020</b>
		Página <b>131</b> de <b>148</b>	

- b) Realizar a todos los trabajadores exámenes médicos en regulación a las disposiciones emitidas por la OIT referente a neumoconiosis y silicosis.
- c) Asegurar la difusión del presente plan.

#### **4.2. Supervisor de Higiene Ocupacional.**

- Verificar y hacer seguimiento del cumplimiento de los procedimientos del presente protocolo.
- Asegurar la disponibilidad y buen uso del EPP para la protección respiratoria.
- Asegurar que todo el personal de la planta se le brinde la formación que exige este protocolo para prevenir silicosis y otras enfermedades relacionadas.

### **6. EVALUACIÓN Y VIGILANCIA DE LOS RIESGOS AMBIENTALES.**

#### **5.1. Finalidad**

Establecer procedimientos para efectuar monitoreos personales o representativos de las concentraciones de sílice y polvo, priorizando la identificación de puestos de trabajo con altos niveles de exposición, en los cuales se verificará que no se exceda los valores de referencia del DS N° 015-2005-SA y cualquier otra norma que permita evaluación y el control de los riesgos.

#### **5.2. Evaluación Cuantitativa de la exposición Sílice.**

La evaluación de la concentración de sílice de ser realizada partiendo de la identificación de:

- a) Procesos, etapas y etapas críticas.
- b) Composición de la materia prima, contenido de cuarzo, cristobalita y / o tridimita.
- c) Tiempos de exposición.
- d) Capacidad de instalación y producción.
- e) Turnos y horarios de trabajo.
- f) La altitud y condiciones ambientales.

Para validar la calidad de los datos de los monitoreos de calidad del aire y el análisis de las muestras, el laboratorio estará acreditado con la norma ISO/IEC 17025, cumplirá con los requisitos de INACAL vigentes, y los requerimientos exigidos en la sección M del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad del Aire. El método para la evaluación y determinación de sílice aplicable, corresponderá al método NIOSH 7602 (espectrofotometría de absorción infrarroja) o similares.

	<b>ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN Y VIGILANCIA DE SALUD DE LOS TRABAJADORES EXPUESTOS A SÍLICE</b>	<b>SGSST-MIN-01-20</b>	
		Ver. <b>00</b>	Fecha: <b>24/08/2020</b>
		Página <b>132</b> de <b>148</b>	

Las evaluaciones de exposición ocupacional se realizarán de forma personal, empleando una bomba de muestreo, se debe garantizar que equipo sea compatible con el método de análisis de muestras.

### **5.3. Determinación de Sílice Libre / Cuarzo (N° CAS 14808-60-7)**

Se realizará el análisis de la recolección de muestras obtenidas en los puestos de trabajo con sílice/cuarzo para evaluar los niveles de polvo de sílice estén por debajo de los valores de la Tabla 01.

Se deberá asegurar que el análisis se realice empleado métodos normados que garantizan la calidad del estudio:

- OSHA ID-142
- NMAM 7500;
- NMAM 7602;
- NMAM 7603;
- MSHA P-2; o MSHA P-7.

Los servicios o laboratorios que realicen esta evaluación deberán contar con certificación en la NTP-ISO/IEC 17025:2006 y la Dirección de Acreditación del INACAL del Perú establecen que es importante que el laboratorio tenga implementado un programa de control de calidad interno para evaluar la incertidumbre analítica y proporcionar estimaciones de muestreo y error analítico, también es importante que cuenten con estándares para la calibración del instrumento.

La norma OSHA 1926.1153 en su apéndice A, Methods of Sample Analysis; especifica los procedimientos para analizar muestras de aire en busca de sílice cristalina respirable, así como los procedimientos de control de calidad que deben asegurar los laboratorios.

### **5.4. Implementación de controles**

Cuando los niveles de SCR superen los Límites Máximos Permisibles (0.05 mg/m<sup>3</sup>) deberán implementarse controles factibles de tipo ingenieril y administrativos.

#### **Controles de Ingeniería**

Para la reducción de las emisiones de polvo de SCR en la fuente se optará en la implementación de un control de Ingeniería como;

Sistemas de aspersion de niebla seca en trituradoras, tolva, criba vibratoria;

Uso de cabinas cerradas en vehículos y estaciones de monitoreo

	<b>ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN Y VIGILANCIA DE SALUD DE LOS TRABAJADORES EXPUESTOS A SÍLICE</b>	<b>SGSST-MIN-01-20</b>	
		Ver. <b>00</b>	Fecha: <b>24/08/2020</b>
		Página <b>133</b> de <b>148</b>	

Aplicación de supresores bituminosos en caminos.

### **Controles Administrativos**

Implementar señalización en los ambientes de trabajo para asegurar el cumplimiento de las medidas preventivas.

Señalizar las áreas donde es obligatorio el uso de protección respiratoria.

Hacer la difusión de todas las medidas preventivas que se adoptaran durante la exposición a polvo de sílice. Procedimientos, estándares, IPERC y Otros.

Incluir en el reglamento interno de SST todo los estándares y procedimientos para controlar la exposición a sílice libre cristalizada o cuarzo.

Elaborar e implementar procedimientos para las operaciones donde exista el riesgo de exposición a polvo de sílice, indicando los controles de seguridad considerados en cada operación.

Establecer estándares o controles de seguridad en todas las actividades que tengan como finalidad mantener libre de polvo sedimentado las instalaciones y equipos.

***Hacer una descripción detallada de los controles de ingeniería, administrativos y la protección respiratoria utilizada para limitar la exposición.***

### **Protección respiratoria**

El riesgo residual se determinará a partir de una evaluación de la exposición luego de implementar controles ingenieriles, el riesgo residual no debe exceder en más de 10 veces el límite de protección. Solo para una concentración de sílice de hasta 5 mg/m<sup>3</sup> puede seleccionar un respirador de media cara con filtros N95.

El ingeniero responsable del cumplimiento de este protocolo debe elaborar un Programa de protección respiratoria en el que se desarrollara los siguientes procedimientos mínimos que aseguren la selección de respiradores adecuados:

- a) Identificación de contaminantes en los puestos de trabajo.

- b) Pruebas de ajuste de presión negativa y positiva.
- c) Factor de protección asignado.
- d) Compatibilidad con otros EPP.
- e) Limitaciones de los respiradores seleccionados.
- f) Limpieza, desinfección, almacenamiento, inspección y uso adecuado de respiradores.
- g) Capacitar en el uso adecuado de respiradores.
- h) Capacitación sobre los agentes químicos presentes en los puestos de trabajo.
- i) Establecer los criterios para la reposición de respiradores y filtros.
- j) Registros de entrega y capacitación.
- k) El uso de la protección respiratoria juntamente con el EPP para proteger del contagio por COVID-19.

Solo se permitirá el uso de respiradores aprobados por el NIOSH, ANSI, o cualquier otra norma que contemple estándares superiores para la protección.

Se recomienda siempre hacer uso de lentes probados por norma ANSI Z87.1 2020 con calificación D5 para polvo fino.

#### **5.5. Programación de evaluaciones ambientales.**

La periodicidad de la evaluación y vigilancia de los ambientes de trabajo, está definida por el Nivel de acción y PEL OSHA, dependen de la Concentración del contaminante en el aire y el Valor Límite Permisible - Media Ponderada en el Tiempo (TLV- TWA).

**Tabla 12** Valores límites permisibles para sílice respirable

Sílice Libre	(TLV-TWA) (mg/m <sup>3</sup> )
Cuarzo	0.05
Tridimita	0.05
Cristobalita	0.05

Los límites estarán siempre en referencia al D.S. N° 015-2005-SA, del 2005, DIGESA y en el estándar OSHA 1926.1153.

La programación de monitoreos de tipo personal por puesto de trabajo o representativa se hará bajo los criterios de la Tabla 2

Si varios de los trabajadores en un puesto de trabajo realizan durante el mismo tiempo las mismas actividades, se realizará una muestra de una fracción representativa, considerando al empleado del que se espera que tengan la mayor exposición a SCR.

**Tabla 13** Periodicidad de la Vigilancia Ambiental según Nivel de Riesgo.

<b>Nivel de exposición</b>	<b>Periodicidad de la Evaluación</b>
Mayor o Igual 25 µg / m <sup>3</sup> y Menor a 50 µg / m <sup>3</sup>	6 meses
Mayor o Igual 50 µg / m <sup>3</sup>	3 meses

**Notas:**

- (1) Nivel de acción OSHA, calculada con un TWA de 8 horas.
- (2) PEL OSHA calculada con un TWA de 8 horas.

Cuando el monitoreo de exposición más reciente indique que las exposiciones de los empleados están por debajo del nivel de acción, se repetirá dicho monitoreo dentro de los seis meses posteriores al monitoreo más reciente hasta que dos mediciones consecutivas, tomadas con siete o más días de diferencia, estén por debajo del nivel de acción, momento en el cual se puede discontinuar el monitoreo para aquellos empleados cuyas exposiciones están representadas por dicho monitoreo, excepto que se disponga de otra manera.

**Reevaluación de exposiciones**

Se deberá reevaluar las exposiciones siempre que se pueda esperar razonablemente que un cambio en la producción, el proceso, el equipo de control, el personal o las prácticas laborales resulte en exposiciones nuevas o adicionales al nivel de acción o por encima del mismo, o cuando el empleador tenga alguna razón para creer que se han producido exposiciones nuevas o adicionales en el nivel de acción o por encima de él.

**6. EVALUACIÓN OCUPACIONAL DE LOS TRABAJADORES**

**6.1. Finalidad**

Establecer los estándares mínimos que deberá cumplir el servicio de vigilancia de la salud de los trabajadores contratada por la empresa, la cual realizará los exámenes médicos ocupacionales y los exámenes complementarios específicos para el diagnóstico de silicosis que permitirán detener la progresión o aparición de la enfermedad.

	<b>ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN Y VIGILANCIA DE SALUD DE LOS TRABAJADORES EXPUESTOS A SÍLICE</b>	<b>SGSST-MIN-01-20</b>	
		Ver. <b>00</b>	Fecha: <b>24/08/2020</b>
		Página <b>136</b> de <b>148</b>	

## **6.2. Evaluación médica ocupacional.**

Los siguientes procedimientos serán realizados por el servicio de Seguridad y Salud Ocupacional contratado; el Ingeniero de Higiene Industrial identificara los puestos de trabajo con concentraciones capaces de generar silicosis en los trabajadores.

La radiografía de tórax y la espirometría son las evaluaciones complementarias específicas que se realizaran de acuerdo a la “Guía para la Lectura de Imágenes Radiográficas de Tórax Análogas y Digitales según Normas OIT”.

## **6.3. Exámenes médicos ocupacionales**

Esta vigilancia médica ocupacional deberá realizarse bajo lo dispuesto por la OIT y la RM N° 312-2011-MINSA

### **a) Examen de salud inicial**

Se efectuará previa incorporación al trabajo con riesgo de exposición a sílice, considerando un Historial médico y laboral, con énfasis en:

- Exposiciones pasadas a sílice cristalina respirable, polvo y otros agentes que afectan el sistema respiratorio.
- Enfermedades pulmonares (neumoconiosis, tuberculosis) y del sistema respiratorio, incluidos signos y síntomas (por eje. dificultad para respirar, tos, sibilancias).
- Tabaquismo.

El contenido del examen médico inicial;

- Examen físico con especial énfasis en el sistema respiratorio
- Una radiografía de torácica.
- Una prueba de función pulmonar que incluya la capacidad vital forzada (FVC) y el volumen espiratorio forzado en un segundo (FEV 1) y la relación FEV 1 / FVC.

### **b) Examen médico ocupacional periódico**

Se realizará una evaluación anual a todo trabajador que se desempeñe en puestos de trabajo con presencias de polvo de sílice.

	<b>ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN Y VIGILANCIA DE SALUD DE LOS TRABAJADORES EXPUESTOS A SÍLICE</b>	<b>SGSST-MIN-01-20</b>	
		Ver. <b>00</b>	Fecha: <b>24/08/2020</b>
		Página <b>137</b> de <b>148</b>	

Considerando como dato objetivo que los puestos de trabajo vinculados al chancado de agregados de construcción con contenido de cuarzo deberán ser evaluados anualmente.

Por otro lado, se evaluará cada dos años a los trabajadores que tenga un tiempo de permanencia menor o igual al 30% en puestos de trabajo identificados con exposiciones a sílice.

**b) Evaluación por Término o retiro**

Al finalizar la vinculación laboral se realizará una evaluación médica de retiro complementada con Radiografía de tórax y espirometría.

**6.4. Criterios para la evaluación radiológica del tórax.**

Se considera como “radiografía de tórax alterada” a la lectura 1/0 o superior en la escala OIT.

Las Radiografías de tórax anteroposterior y lateral debe ser realizada en un tiempo menor de dos años por médicos ocupacionales calificados y certificados por el INSTITUTO NACIONAL DE SALUD – Centro Nacional de Salud Ocupacional y Protección del Ambiente para la Salud (CENSOPAS).

**6.5. Comunicación de los peligros de la sílice cristalina respirable al Trabajador**

Realizar la entrega de información necesaria para prevenir la ocurrencia de silicosis y patologías asociadas, generando registros de las capacitaciones y asegurando de que cada empleado cubierto por esta sección pueda demostrar conocimiento y comprensión de al menos lo siguiente:

- a) Los peligros para la salud asociados con la exposición a la sílice cristalina respirable.
- b) Cáncer pulmonar
- c) Efecto sinérgico del tabaco
- d) Efecto sinérgico con otras enfermedades
- e) Importancia del diagnóstico precoz de cualquier dolencia respiratoria
- f) Importancia de cumplir con todas las medidas preventivas que su empleador haya dispuesto en su programa de gestión del riesgo sílice

Toda información entregada quedara archivada en físico y digital para la fiscalización y evidencia del cumplimiento a la Unidad Ejecutora de Energía y Minas.

	<b>ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN Y VIGILANCIA DE SALUD DE LOS TRABAJADORES EXPUESTOS A SÍLICE</b>	<b>SGSST-MIN-01-20</b>	
		Ver. <b>00</b>	Fecha: <b>24/08/2020</b>
		Página <b>138</b> de <b>148</b>	

## **6.6. De la Calidad de los Servicios de la Vigilancia de la Salud de los trabajadores.**

### **Acreditación de centros médicos para el Servicio de Salud Ocupacional (SSO)**

Los SSO que realicen la Vigilancia de la Salud de los trabajadores de la empresa, contara con acreditación vigente emitida por la Dirección de Certificaciones y Autorizaciones de la DIGESA.

### **Profesional médico para SSO**

Las evaluaciones médicas que se realicen para la de vigilancia de silicosis y otras afecciones relacionadas, serán realizadas por un Médico Cirujano titulado con segunda especialidad en Medicina Ocupacional y Medio Ambiente o con maestría en Salud Ocupacional y Ambiental; habilitado el Colegio Médico del Perú.

El profesional a cargo deberá cumplir los requisitos que exige la RM N° 004-2014-MINSA para garantizar calidad del diagnóstico y de las pruebas complementarias específicas.

El profesional médico cumplirá con las competencias especificadas en la RM N° 021-2016/MINSA para participar junto con un Ingeniero de la especialidad de Higiene industrial para la ejecución de las actividades de SST que tengan como finalidad la prevención de silicosis y sus efectos en la salud.

## **6.7. Conformidad de la evaluación médica ocupacional de los trabajadores.**

El presente protocolo está basado en garantizar los Derechos Humanos Fundamentales, el Derecho a la Vida y el Derecho a la Salud de todos los trabajadores.

Establece procedimientos para garantizar la confidencialidad, intimidad y dignidad del trabajador en todas las Evaluaciones Medico Ocupacionales a través del formato de **Consentimiento Informado de la Evaluación del estado Salud de Trabajadores para la Prevención de Silicosis** Ver ANEXO N° 01. El incumplimiento de este procedimiento estará sujeto a sanciones administrativas y jurídicas establecida en el inciso c) del artículo 71° de la ley 29783.

El contenido y la información de la evaluación médica permanecerá en custodia de los Servicios de Salud Ocupacional (SSO), el cual informara acerca de los resultados y recomendaciones que le permitirán a la empresa establecer medidas preventivas en los ambientes con sílice. La silicosis es una enfermedad que puede ser diagnostica después de

	<b>ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN Y VIGILANCIA DE SALUD DE LOS TRABAJADORES EXPUESTOS A SÍLICE</b>	<b>SGSST-MIN-01-20</b>	
		<b>Ver. 00</b>	<b>Fecha: 24/08/2020</b>
		<b>Página 139 de 148</b>	

haber cesado la exposición por que los registros médicos se almacenarán por un periodo de 40 años.

- a) Anexo N° 01: Consentimiento Informado de la Evaluación del estado Salud de Trabajadores para la Prevención de Silicosis.
- b) Anexo N° 02: Lineamientos técnicos para la Evaluación Cualitativa.
- c) Anexo N° 03: Manejo clínico preventivo de Silicosis.
- d) Anexo N° 04: Formato de evaluación del tiempo de Exposición a sílice.

## ANEXO Nº 01:

### Consentimiento Informado de la Evaluación del estado Salud de Trabajadores para la Prevención de Silicosis

La inhalación de sílice puede provocar silicosis y cáncer pulmonar. Los enfermos de silicosis tienen más riesgo de daño a los riñones, tuberculosis y otras enfermedades.

Con el fin de disminuir los daños a la salud, el Estándar de evaluación y Vigilancia de Salud de los Trabajadores Expuestos a Sílice, dispone efectuar una radiografía de tórax de alta calidad para detectar muy precozmente (tempranamente) cualquier evidencia de silicosis en los pulmones de los trabajadores.

El cáncer pulmonar también puede ser detectado en la radiografía, pero a veces se presenta semanas o meses después de tomada la radiografía, por lo que es muy importante que usted consulte médico ante la aparición de cualquier síntoma respiratorio

La radiografía de tórax que se la va a tomar lo expone a rayos X, pero en una dosis muy baja, por lo que usted no corre ningún riesgo. El tecnólogo le pedirá se quite la ropa del pecho y le indicará como pararse en el equipo de rayos. Al tomar la radiografía le pedirá que contenga la respiración por unos segundos.

Los resultados de la radiografía le serán comunicados por escrito y en forma personalizada, de modo que sólo usted conozca el resultado. La empresa será informada sólo de resultados generales.

La información será manejada en forma absolutamente confidencial y sólo por los profesionales médicos. Las radiografías y sus resultados serán almacenados en forma segura por 40 años después de que usted deje de trabajar expuesto a sílice.

En caso de que la radiografía resulte alterada, será citado a control médico para mayor estudio.

Al firmar este consentimiento, usted acepta que se le tomen las radiografías cada uno o dos años, según establece el médico.

En caso de dudas se puedo contactar con:

Nombre:

\_\_\_\_\_

DNI:

FIRMA:

Con fecha \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ doy mi consentimiento para que se me efectúen las radiografías de tórax que establece el protocolo de vigilancia de la salud de trabajadores expuestos a sílice



## ANEXO Nº 2

### Lineamientos técnicos para la Evaluación Cualitativa.

#### 1. Introducción

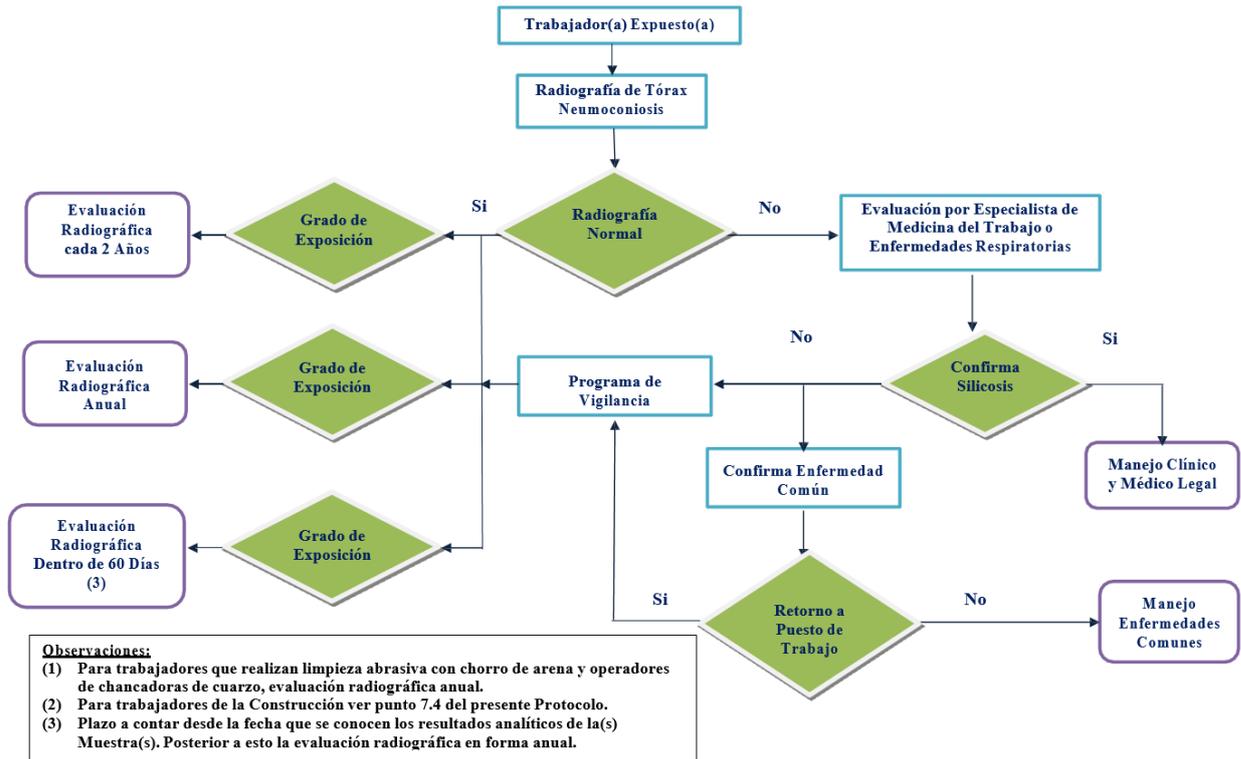
La aplicación del Protocolo de Vigilancia del Ambiente de Trabajo y de la Salud de los Trabajadores con Exposición a Sílice, se inicia con una Evaluación Cualitativa, con la finalidad de establecer si un trabajador o grupo de trabajadores, en uno o más puestos de trabajo, tienen un tiempo de permanencia en lugares con presencia de sílice superior al 30% o menor o igual a este porcentaje, en relación al total de horas de trabajo semanal o de las horas de trabajo de un ciclo de turno, según corresponda.

Considerando la importancia que tiene esta evaluación en el contexto del presente Protocolo de Vigilancia, se detallan a continuación los criterios que deberán considerarse para realizar la Evaluación Cualitativa.

#### 2. Criterios

- a) Deberá establecerse el total de horas semanales trabajadas o de un ciclo de turno que tiene un trabajador o grupo de trabajadores.
- b) Solo podrán considerarse las horas de un turno si efectivamente el trabajador o grupo de trabajadores realizan todos los días las mismas actividades, proyectándolas luego a la semana o al ciclo de turno.
- c) Se deberá conocer el proceso y las etapas en las cuales hay presencia de sílice.
- d) Deberá establecerse los tiempos de permanencia de un trabajador o grupo de trabajadores en cada una de las etapas del proceso con presencia de sílice, teniendo presente si realiza(n) o no las mismas actividades.
- e) En razón a la información recolectada, de acuerdo a las letras precedentes, se deberá determinar qué porcentaje representan las horas de permanencia en lugares con presencia de sílice respecto del total de horas semanales que se trabajan o de un ciclo de turno.
- f) Si se trabajan horas extraordinarias, en carácter permanente, éstas deberán considerarse en el cálculo.
- g) Se deberá hacer una descripción de las actividades que realiza un trabajador o grupo de trabajadores, ya sea en un turno o en la semana o ciclo de turno según corresponda.
- h) Deberán quedar registrados todos los antecedentes considerados para determinar qué porcentaje un trabajador o grupo de trabajadores permanecen en lugares con presencia de sílice

### ANEXO N° 03: Manejo clínico preventivo de Silicosis



### ANEXO N° 04: Formato de evaluación del tiempo de Exposición a sílice

Logo	EVALUACIÓN CUALITATIVA DE EXPOSICIÓN					
Descripción del Proceso						
Minerales						
Tipo de sílice						
Área	Puesto de trabajo	Actividades	N° Trabajadores por Puesto de Trabajo	Jornada Semanal (hrs) (j)	Tiempo Exposición Semanal (hrs) (t)	Tiempo de Exposición Semanal (%) (t/j)x100
<b>TOTAL TRABAJADORES EXPUESTOS</b>						

## **BIBLIOGRAFÍA**

3M Personal Safety Division. (2015). Guía para la Selección de Respiradores. *3M Company*.

Barr, H., Brown, G., Castro de la cruz, O., Cohen, R., Fierro, M., Medina, E., Ortega, M., & Zubieta, I. (2007). Encuesta de salud y seguridad en el lugar de trabajo y evaluación médica de mineros en la mina de cobre del grupo México Cananea, Sonora, México octubre 5-8, 2007. In *Maquiladora health & safety support network*.

Barr, H., Brown, G., Castro de la cruz, O., Cohen, R., Fierro, M., Medina, E., Ortega, M., & Zubieta, I. (2008). Encuesta de Salud y Seguridad en el Lugar de Trabajo y Evaluación Médica de Mineros en la Mina de Cobre del Grupo México Cananea, Sonora, México Octubre 5-8, 2007. In *Maquiladora Health & Safety Support Network Red de apoyo sobre salud ocupacional en las maquiladoras*.  
<http://www.acfonline.org.au/be-informed/climate-change/impacts-threats%0Ahttp://rii.cujae.edu.cu/index.php/revistaind/article/view/443/448%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2013.05.015%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.technovation.2015.11.004>

Bello, A., Mugford, C., Murray, A., Shepherd, S., & Woskie, S. R. (2019). Characterization of Occupational Exposures to Respirable Silica and Dust in Demolition, Crushing, and Chipping Activities. *Annals of Work Exposures and Health*, 63(1), 34–44. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxy089>

Cáceres Lillo, D. D. (2015). "EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS AGUDOS EN LA FUNCIÓN PULMONAR POR EXPOSICIÓN A MATERIAL PARTICULADO FINO (MP2.5) EN NIÑOS QUE VIVEN PRÓXIMOS A UNA PLAYA MASIVAMENTE

CONTAMINADA CON RELAVES MINEROS, CHAÑARAL, CHILE”. In *Journal of Chemical Information and Modeling*. Universidad Autonoma de Barcelona.

Carpio Ronquillo, M., Torre Antay, J., & Fuentes Palomino, J. (2017). Prospección de Recursos de Rocas y Minerales Industriales en la Región Lambayeque. *INGEMMET, Boletín Serie B: Geología Económica*, 41, 220–223.  
<http://www.elsevier.com/locate/scp>

Castañega Coll, A., & Yataco Medina, A. (1963). CONTROL DEL CONTAMINANTE POLVO EN MINAS Y PLANTAS CONCENTRADORAS. *INSTITUTO DE SALUD OCUPACIONAL*, 7–92.

Cavada Vera, D. I. (2016). EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL CONTROL DE POLUCIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE CARPETA DE RODADO EN CAMINO INDUSTRIAL LOS BRONCES CON SUPRESOR DE POLVO. In *UNIVERSIDAD DE CHILE*. UNIVERSIDAD DE CHILE.

Comercial aralco. (2012). Sistema de supresión de polvo por niebla seca dryfog. *Comercial Aralco*, 2–3.

Department of Labor and Economic Opportunity. (2019). General industry safety and health standards. *Department of Labor and Economic Opportunity*, 590.

DKV Seguros. (2010a). Contaminación atmosférica y salud. *Observatorio Dkv de Salud y Medio Ambiente*, 2, 74.

DKV Seguros. (2010b). Contaminación atmosférica y salud. *Observatorio Dkv de Salud y Medio Ambiente*, 2, 74.  
[http://ecodes.org/component/option,com\\_phocadownload/Itemid,446/id,22/view,category/#](http://ecodes.org/component/option,com_phocadownload/Itemid,446/id,22/view,category/#)

Ferrari Goelze, B. I., Lillienberg, L., Todd, L. A., Stewar, J., Heederik, D., & Paustenbach,

- D. J. (1998). Higiene industrial. In *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo* (pp. 30.1-30.36).
- García, D. A., Victoria, M. del M. C., Ochoa Lucas, F. J., Riegos, M., & Gravilla, C. O. N. (2015). Tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla(TSRG). Sostenibilidad y eficacia en la rehabilitación superficial de firmes de carreteras. *Comunicación 20. I Congreso Multisectorial de La Carretera*. <https://www.ateb.es/index.php/site-administrator/articulos-tecnicos#startOfPageId38>
- Góngora González, A., Ramos Leyva, D., & Peña González, P. L. (2019). Acciones para mitigar las Emisiones de polvo a la atmosfera en la planta productora de hidrato de cal "LA YAYA." In *Universidad de las tunas*.
- Hermitaño Martínez, A. J. (2018). Evaluación del material particulado y su relación con las enfermedades respiratorias en el proceso de chancado y molienda en la compañía minera Casapalca S.A, provincia de Huarochiri, Lima 2017 [Universidad de Huánuco]. In *Facultad de Ingeniería*. <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/1066>
- Hernández Sampieri, R. (2014). METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN. In *McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. (Vol. 6)*.
- Hoyos Mosqueda, E. M. (2015). *Universidad Nacional de Ucayali Pucallpa - Perú*. Universidad Nacional de Ucayali.
- Instituto Sindical de Trabajo Ambiente y Salud. (2007). LA PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LOS LUGARES DE TRABAJO. *INSTITUTO SINDICAL DE TRABAJO, AMBIENTE Y SALUD*, 5, 223–234.
- Jiménez Vargas, C. F. (2017). *Propuesta De Mejoramiento En El Área De Secado Para*

*Minimizar Los Riesgos De Exposición a Material Particulado De Polvo Orgánico (Arroz) En La Empresa Agrigloma S.a.*”. Universidad Estatal de Guayaquil.

Kröger, I., & Kröger, S. (2020). Tratamientos Superficiales de alto desempeño. In Grupo Bitafal (Ed.), *□□□□□ □□□□□* (2.1, Vol. 4, Issue 3). (STALORI S.A). <http://marefateadyan.nashriyat.ir/node/150>

Liu, Y., Rong, Y., Steenland, K., Christiani, D. C., Huang, X., Wu, T., & Chen, W. (2014). Long-term exposure to crystalline silica and risk of heart disease mortality. *Epidemiology*, 25(5), 689–696. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000143>

Meléndez Rascón, J., Segura Mélenz, N. H., & Toral Villanueva, R. (2009). Diagnóstico y Tratamiento de la Neumoconiosis por Sílice. *Centro Nacional de Excelencia Tecnológica En Salud*, 7–47.

MINEM. (2020). *ESTADÍSTICA DE ENFERMEDADES OCUPACIONALES EN MINERÍA*. Ministerio de Energía y Minas. [http://www.minem.gob.pe/\\_estadistica.php?idSector=1&idEstadistica=10187](http://www.minem.gob.pe/_estadistica.php?idSector=1&idEstadistica=10187)

Ministerio de Salud. (2015). Protocolo de vigilancia del ambiente de trabajo y de la salud de los trabajadores con exposición a sílice. *MINISTERIO DE SALUD*.

Ministerio de Salud, Ministerio del Ambiente, & Dirección de Salud Ocupacional. (2011). *PLAN NACIONAL PARA LA ERRADICACIÓN DE LA SILICOSIS EN EL PERU AL 2030*. *DIRECCION DE SALUD OCUPACIONAL PLAN*, 2–20.

Ministerio de Sanidad. (2020). Protocolo de vigilancia sanitaria específica silicosis. *MINISTERIO DE SANIDAD*.

NORMA TÉCNICA DE SALUD QUE ESTABLECE EL LISTADO DE ENFERMEDADES PROFESIONALES, Portal Institucional del Ministerio de Salud (2010).

- Mosqueira Estraver, H. (2019). Evaluación de las partículas PM2.5 y PM10 en la construcción de la carretera Chota – Cochabamba (Cajamarca) [Universidad Nacional de Cajamarca]. In *Universidad Nacional de Cajamarca*. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1009>
- MSHA. (2019). Respirable Silica (Quartz). *Federal Register*, 84(168), 45452–45456.
- Münzel, T., Gori, T., Babisch, W., & Basner, M. (2014). Cardiovascular effects of environmental noise exposure. In *European Heart Journal* (Vol. 35, Issue 13). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehu030>
- NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. (2008). Recomendaciones para la protección respiratoria contra las exposiciones a la sílice cristalina en el aire. *NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH*, 140.
- National Toxicology Program. (2016). *Report on Carcinogens 2016*. <https://ntp.niehs.nih.gov/whatwestudy/assessments/cancer/roc/index.html#toc1>
- Oficina Internacional del Trabajo. (1965). Guía para la prevención y la supresión del polvo en las minas, los túneles y las canteras. *GINEBRA*, 5–441.
- Rada, R., & Cruz, R. (2013). Prácticas para suprimir el polvo. *Minería Chilena N° 384*, 1–5. <http://www.mch.cl/reportajes/practicas-para-suprimir-el-polvo/>
- Shafiei, M., Ghasemian, A., Eslami, M., Nojoomi, F., & Rajabi-Vardanjani, H. (2019). Risk factors and control strategies for silicotuberculosis as an occupational disease. *New Microbes and New Infections*, 27, 75–77. <https://doi.org/10.1016/j.nmni.2018.11.002>
- Solà, N. Q. (2013). *Highly concentrated bitumen emulsions A state of the art , review of experimental results* [Universitat de Lleida Escola].

<https://repositori.udl.cat/bitstream/handle/10459.1/46663/nquerols.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Tejada Ancco, O. A. (2018). Implementación de un sistema de mitigación de material particulado en el área de chancado mediante la aplicación de niebla seca en la ciudad Belen de la empresa minera titan del Perú S.R.L. In *UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA*.