



Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental

**“Programa de control de polvo fugitivo en las instalaciones de Holcim
Costa Rica para la protección de los trabajadores expuestos a sílice cristalina y
material particulado respirable”**

Para optar por el título de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental con
grado académico de licenciatura

Karina Román Solano

2017239316

Cartago, 2021



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional

Constancia Defensa Pública de Trabajo Final de Graduación

Informe presentado a la Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniera en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental con el grado de licenciatura.

Miembros del Tribunal

MARIA GABRIELA
HERNANDEZ
GOMEZ (FIRMA)

Firmado digitalmente por MARIA GABRIELA HERNANDEZ GOMEZ (FIRMA)
Fecha: 2022.01.20 14:29:07 -06'00'

Ing. María Gabriela Hernández Gómez
Asesora académica

TEC Tecnológico de Costa Rica

Firmado digitalmente por MARIA DE LOURDES MEDINA ESCOBAR (FIRMA)
Fecha: 2022.01.20 14:21:39 -06'00'

Ing. María Lourdes Medina Escobar
Profesora Evaluadora

CARLOS LUIS MATA MONTERO (FIRMA)

Firmado digitalmente por CARLOS LUIS MATA MONTERO (FIRMA)
Fecha: 2022.01.20 14:24:43 -06'00'

Ing. Carlos Mata Montero
Profesor Evaluador

MONICA MARIA CARPIO CHAVES (FIRMA)

Firmado digitalmente por MONICA MARIA CARPIO CHAVES (FIRMA)
Fecha: 2022.01.20 13:52:53 -06'00'

Ing. Mónica Carpio Chaves
Coordinadora de Trabajo Final de Graduación
En representación de la Dirección EISLHA

Cartago
20 enero, 2022

Dedicatoria

Este logro va dedicado especialmente a mis padres Guillermo y Marielos con todo el amor y esfuerzo del mundo, por todo el apoyo que me han brindado en el transcurso de toda mi carrera, gracias por nunca cortarme las alas para poder crecer profesional y personalmente.

A mi hermana Michelle para que esto sea una motivación de que todo se puede lograr si se le dedica tiempo, amor y esfuerzo, que espero verla triunfar en todo lo que se proponga y que siempre voy a estar orgullosa de ella.

Agradecimientos

Agradezco inmensamente a Dios por permitirme llegar está aquí y guiarme en todo momento, a pesar de las adversidades que se presentaron en el camino, por darle la fuerza a toda mi familia a seguir adelante.

Agradezco infinitamente a mi familia por el apoyo brindado desde el inicio hasta el final de mi carrera, por siempre estar para mí y abrirme puertas que me permitieron crecer.

Fabián por siempre estar presente en todo momento, brindarme su apoyo y fuerza para seguir adelante, gracias por permitirme verte crecer y formar parte de este proceso.

A mis compañeros y futuros colegas de carrera Moisés E, Jennifer G, Valeria A, Fiorella M y Diana M, por ser parte importante de este camino, fueron excelentes acompañantes de este viaje, espero verlos cumplir todos sus sueños y metas.

Al profesor Andrés Robles, por ser un apoyo incondicional desde el día 1 que ingresé al TEC, gracias profe por la dedicación y el amor que transmite a sus estudiantes y la ayuda que nos brinda para seguir adelante.

Holcim C.R, por permitirme desarrollar mi TFG en sus instalaciones, agradezco enormemente a cada una de las personas de esta institución que aportaron un granito de arena para cumplir mi meta, especialmente a mi asesora industrial Silena Oviedo Mora.

A mi profesora tutora María Gabriela Hernández por la ayuda en todo el trabajo final de graduación, por cada uno de los consejos y aportes en el proceso.

Resumen

Holcim es una empresa que se encarga de la producción y venta de cemento, por las características de su proceso productivo es inevitable la generación de polvo. Uno de los principales problemas es la presencia de polvos dispersos, conocidos como fugitivos, que no provienen de una fuente puntual. Como parte de los objetivos estratégicos de la organización, se busca minimizar el impacto de estos en la salud de sus colaboradores. A raíz de esta situación, este proyecto recomienda un programa de control de polvo fugitivo en las instalaciones de Holcim Costa Rica para la protección de los trabajadores expuestos a sílice cristalina y material particulado.

El proyecto fue una investigación de tipo descriptiva, explicativa y aplicada. Se fundamentó en la implementación de dos estrategias de muestreo, una a nivel ambiental donde se muestreó material particulado en los diámetros de 2,5 y 10 micrómetros, encontrando dentro de los principales resultados que las zonas con los valores más altos de concentración fueron el quebrador primario, molino tres y CEPAL. En el caso del muestreo ocupacional, se muestreó sílice cristalina y material particulado respirable, hallando que ocho de los 12 trabajadores muestreados se encontraron por encima del límite de exposición TLV-TWA ($0,025 \text{ mg/m}^3$) para sílice cristalina y para MPR ninguno se encontró por encima del TLV-TWA (3 mg/m^3).

Con el análisis de la situación actual, se llega a la conclusión que las zonas que presentaron los valores más altos de exposición tienen influencia directa con los valores de concentración de exposición ocupacional de trabajadores que se encontraron en esas zonas, por lo que, se recomienda un programa de control de polvo fugitivo que contemple controles ingenieriles y administrativos que permitan reducir la exposición de sílice cristalina y material particulado a la que se encuentran expuestos los trabajadores de Holcim.

Palabras clave: Polvo fugitivo, PM_{2,5}, PM₁₀, sílice cristalina, material particulado respirable.

Abstract

Holcim is a company that is responsible for the production and sale of cement, due to the characteristics of its production process, the generation of dust is inevitable. One of the main problems is the presence of scattered dust that doesn't come from a point source, which is known as fugitives. As a part of the strategic objectives of the organization, it seeks year after year to minimize the impact of these on the health of its employees. As a result of this situation, this project proposes the recommendation of a fugitive dust control program for the protection of workers exposed to crystalline silica and respirable particulate matter.

The project was a descriptive, explanatory, and applied research. It was based on the implementation of two sampling strategies, one at the environmental level where particulate matter was sampled in the diameters of 2,5 and 10 micrometers. Among the main results, it can be mentioned that the areas that presented the highest concentration values were the *quebrador primario*, *molino tres* and CEPAL. In the case of occupational sampling, crystalline silica and respirable particulate matter. Regarding the main results, eight of the twelve workers' samples were found to be above the TLV-TWA exposure limit ($0,025 \text{ mg/m}^3$) for crystalline silica and for MPR none were found above TLV-TWA (3 mg/m^3).

With the analysis of the current situation, it is concluded that the areas that presented the highest exposure values have a direct influence on the occupational exposure concentration values of workers who were found in those areas, so it is recommended to implement a fugitive dust control program that includes engineering and administrative controls that allow reducing the exposure of crystalline silica and particulate matter to which Holcim workers are exposed.

Keywords: Fugitive dust, PM2,5, PM10, crystalline silica, breathable particulate material, crystalline silica, breathable particulate material concentration.

Índice general

I. Introducción.....	1
A. Identificación de la empresa.....	1
1. Visión y misión	1
2. Antecedentes históricos	1
3. Ubicación geográfica	2
4. Organigrama de la organización	2
5. Cantidad de colaboradores	3
6. Mercado	3
7. Proceso productivo y productos	3
B. Planteamiento del problema.....	4
C. Justificación del proyecto	6
D. Objetivos del proyecto.....	7
E. Alcance y limitaciones	8
II. Marco Teórico	10
III. Metodología	15
A. Tipo de investigación.....	15
B. Fuentes de información.....	15
C. Población y muestra.....	17
D. Operacionalización de variables.....	19
E. Descripción de instrumentos	26
F. Plan de análisis	33
IV. Análisis de la Situación Actual	43

V. Conclusiones.....	60
VI. Recomendaciones	62
VII. Alternativa de Solución	64
VIII. Bibliografía.....	63
IX. Anexos	69
X. Apéndices	74

Índice de cuadros

Cuadro 1 Zonas a muestrear dentro de la planta de cemento	18
Cuadro 2 Operacionalización de variables por cada objetivo específico	20
Cuadro 3. Dispositivos de captura utilizados para la toma de las muestras	40
Cuadro 4. Distribución de puntos muestreados, por encima del límite, en el límite de acción y por debajo del límite.....	46
Cuadro 5. Valores de PM2,5 y PM10 promediados por cada zona de muestreo.....	47
Cuadro 6. Concentraciones de sílice cristalina por cada colaborador muestreado...	51
Cuadro 7. Trabajadores que presentaron los valores de concentración más altos del muestreo del 2018.	56
Cuadro 8. Concentraciones de MPR por cada colaborador muestreado	57

Índice de figuras

Figure 1 Ubicación geográfica de la planta de Holcim	2
Figure 2. Representación Plan de análisis	34
Figure 3. Evaluación de la exposición-TLV	39
Figure 4. Plano de distribución Holcim Costa Rica	50
Figure 5 Niveles de concentración de los 13 trabajadores que superaron el límite de exposición a sílice cristalina.....	50
Figure 6. Valores de concentración obtenidos por cada GES en la evaluación de sílice cristalina.....	54
Figure 7. Valores de concentración a sílice cristalina con respecto al TLV-TWA aplicándole el factor de protección.....	55
Figure 8. Valores de concentración obtenidos por cada GES en la evaluación de MPR	58

I. Introducción

A. Identificación de la empresa

El proyecto se desarrolló en la empresa Holcim Costa Rica, la cual corresponde a una planta productora de cemento, localizada en Agua Caliente de Cartago desde el año 1960.

1. Visión y misión

- **Visión**

“Construir los cimientos para el futuro de la sociedad” (Holcim, 2021).

- **Misión**

“Ser la empresa más respetada y atractiva de nuestra industria, creando valor para todos nuestros clientes, colaboradores, accionistas y comunidades en las que operamos” (Holcim, 2021).

2. Antecedentes históricos

Holcim se posiciona como la primera fábrica de cemento en Costa Rica, construida en 1960 y se encuentra ubicada específicamente en Agua Caliente de Cartago. Esta industria introdujo gran cantidad de empleos, oportunidades de desarrollo y crecimiento para el país. El nombre que recibió esta cementera proviene de dos vocablos *Hol*, por su origen en Holderbank y *cim* que es un derivado de la palabra *ciment*, que significa cemento en francés (Holcim Costa Rica, 2021).

En el año 2015 surgió un evento importante con la consolidación de la unión de dos grandes cementeras, la francesa Lafarge y la Suiza Holcim, esto trajo como resultado un cambio en la imagen de la organización adoptando el nombre de LaFargeHolcim. Esta unión de experiencia y conocimientos permitió a la organización desarrollar productos, servicios unificados y compartir 180 años de experiencia combinada,

marcando el comienzo de una nueva era de tecnologías e innovaciones de vanguardia en la industria de materiales de construcción para abordar los desafíos del siglo XXI (LaFargeHolcim Costa Rica, 2021).

Para el año 2021, surgió un nuevo cambio para la organización, ya que ésta refrescó su logo e imagen, por lo que desde el 8 de julio de este año pasó de ser LaFargeHolcim a Holcim, para migrar al nuevo logo de Grupo Holcim con sus colores rojo, gris y blanco (Holcim Costa Rica, 2021).

3. Ubicación geográfica

Holcim con sede central en Suiza, opera en 80 países aproximadamente distribuidos alrededor del mundo. A nivel nacional, la planta se localiza en Agua Caliente, cinco kilómetros al sur de los Tribunales de Justicia de Cartago.

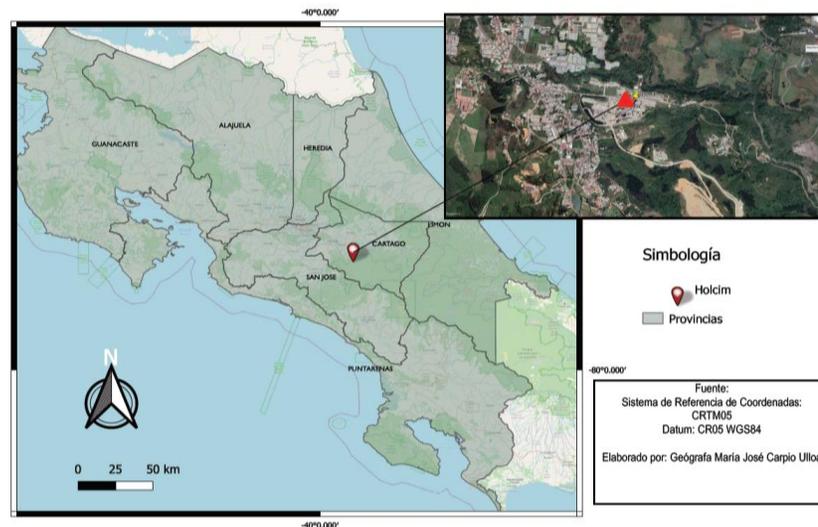


Figure 1 Ubicación geográfica de la planta de Holcim

Fuente: Ulloa, 2021

4. Organigrama de la organización

La estructura organizacional de Holcim está conformada por una dirección técnica que se divide en cinco departamentos, los cuales corresponden a Producción, Mantenimiento, Materias primas, Ambiente y Seguridad y Salud (H&S, por sus siglas

en inglés) ver apéndice 1. Es importante mencionar que el proyecto de graduación se realizó en el Departamento de H & S, pero se contó con la experiencia y colaboración de todos los departamentos de la organización.

5. Cantidad de colaboradores

En el cuadro ubicado en el apéndice 2, se puede observar por área la distribución de los colaboradores que trabajan para Holcim Costa Rica.

6. Mercado

Esta empresa se dedica a la venta de una variedad de cementos con características óptimas para cada proyecto constructivo. Actualmente, cuenta con cuatro líneas principales de cemento. El primer tipo es el cemento fuerte que es para uso general, el segundo es el multibase, utilizado en áreas de ingreso, parqueos, empacadores, caminos peatonales y vehiculares, el tercer tipo es el industrial recomendado para construcciones industriales y, por último, el cemento mampostero, el cual es un producto especialmente diseñado para elaborar trabajos de albañilería (Holcim Costa Rica, 2021).

Actualmente, Holcim cuenta con cinco centros de distribución ubicados geográficamente en Pérez Zeledón, San Carlos, Belén, Guápiles y Cartago. En los centros de distribución se pueden adquirir los diversos tipos de cemento que ofrece esta organización

7. Proceso productivo y productos

El proceso productivo de fabricación de cemento inicia con la extracción de la materia prima en la cantera, esto se realiza mediante explosivos, técnica conocida como voladura. Los principales materiales que se extraen de la mina son la caliza y la puzolana. Una vez extraído el material, se procede a la trituración de éste con el fin de obtener una granulometría adecuada, posteriormente se traslada el material para su almacenamiento y pre-homogenización.

A partir de este paso, la materia prima recibe el nombre de crudo, como siguiente etapa este material es enviado a un molino para hacerlo polvo. El crudo presenta cierta cantidad de impurezas, por lo que se hace pasar por ductos de aire comprimido hacia un filtro electrostático con el fin de eliminarlas. Éste es transportado por canoas neumáticas y elevadores de cangilones hasta la torre de pre-calcinación y precalentamiento, para posteriormente ingresar al horno cementero.

A medida que el crudo avanza en el interior del horno, la temperatura aumenta alcanzado los 1200 °C, produciéndose una serie de reacciones químicas que dan lugar a la formación del clínker, el cual es la materia prima del cemento. A la salida del horno, el clínker se introduce en un enfriador que inyecta aire frío del exterior para reducir su temperatura de los 1200 °C a los 100 °C. Seguidamente el clínker se mezcla con yeso y adiciones dentro de un molino de cemento para luego ser almacenado en un silo.

Una vez almacenado el cemento en el silo, la última fase del proceso es en el centro de paletizado (CEPAL) donde se dispone la mercadería para ser entregada al cliente. La venta del producto puede ser por sacos o a granel, esto dependerá de lo requerido por el comprador. En el apéndice 3 se observa el diagrama del proceso y los puntos específicos donde se da la producción de polvo fugitivo, el cual es el problema que se busca reducir con este proyecto.

B. Planteamiento del problema

En el proceso de fabricación de cemento es inevitable la generación de polvo proveniente de cada una de las fases del proceso productivo, tales como: la extracción de materia prima en la cantera, el proceso de trituración, procesos de molienda, cocción del crudo en el horno cementero, almacenamiento, empaquetado y transporte del cemento.

Uno de los principales problemas es la presencia de polvos que no están relacionados directamente con los provenientes de chimeneas o de fuentes puntuales, sino que se generan en otras zonas. Estos tipos de polvos son conocidos como

fugitivos y se definen como polvos aerotransportados y acumulados, causados por el procesamiento, manejo y transporte de materiales como el cemento, polvo de carbón, el polvo de clínker, sílice cristalina, polvo de carretera y otros polvos respirables (Guía de control de polvo fugitivo, 2021).

Actualmente, Holcim cuenta con mediciones ambientales y ocupacionales realizadas en años anteriores, con el fin de llevar un control de las inmisiones de polvo. Las mediciones ambientales fueron realizadas en el año 2017 donde se muestreo material particulado (PM, por sus siglas en inglés). Seguidamente en el año 2018 se llevaron a cabo mediciones ocupacionales donde se estudió material particulado en la fracción respirable y sílice cristalina. Con los resultados obtenidos en los muestreos realizados tanto a nivel ambiental como ocupacional, se concluyó que internamente existen zonas que presentan alta concentración de material particulado en el ambiente, así como sobreexposición de algunos trabajadores a sílice cristalina y material particulado respirable.

Estos polvos fugitivos podrían ocasionar problemas relacionados con la salud de las personas expuestas, una de las principales afecciones es la silicosis, la cual es un tipo de fibrosis pulmonar, enfermedad pulmonar causada por respirar pequeños trozos de sílice, un mineral común que se encuentra en la arena, el cuarzo y muchos otros tipos de rocas (American Lung Association, 2019). Otros peligros que se pueden mencionar a nivel de seguridad laboral como consecuencia de la inmisión de estos polvos es la visibilidad reducida que puede conllevar a peligros ocultos por el exceso de polvo, superficies desiguales o resbaladizas.

Desde la perspectiva del área de mantenimiento de maquinaria y equipos, también se tienen implicaciones asociadas al polvo fugitivo, dado que este trae como consecuencia el aumento de las frecuencias de mantenimientos, la acumulación de polvos indeseados que pueden dañar el funcionamiento mecánico y eléctrico de los equipos, máquinas y sistemas de la planta, esto a su vez se ve directamente relacionado con una discontinuación del proceso productivo, ya que es posible

requerir hacer paros no programados produciendo retrasos en la entrega de productos y, por ende, pérdidas económicas significativas.

Asimismo, con un impacto potencial fuerte se encuentran las áreas circundantes a la planta, donde la cercanía de colegios, escuelas y comunidades deja en evidencia la posible exposición a polvo fugitivo, ya que estas partículas se aerotransportan largas distancias pudiendo producir deterioros adversos en su salud de las personas y daños a sus infraestructuras.

Sumado a los posibles peligros y riesgos mencionados anteriormente, Holcim debe cumplir anualmente con evaluaciones ambientales y ocupacionales relacionadas con polvo fugitivo, ya que éstas forman parte de las metas y objetivos estratégicos del Departamento de Seguridad y Salud y de toda la organización. Como se mencionó en párrafos anteriores, las últimas mediciones realizadas corresponden a los años 2017 (ambientales) y 2018 (ocupacionales), por lo que es una prioridad y una necesidad para la organización llevar a cabo nuevas evaluaciones a nivel ambiental y ocupacional.

El valor agregado que le incorporará este proyecto a la organización además de realizar las mediciones anuales con las que se deben cumplir, es proporcionar una propuesta de programa para el control del polvo fugitivo mediante controles a nivel ingenieril y administrativo, con el fin de reducir los niveles de polvo fugitivo en la planta cementera Holcim Costa Rica.

C. Justificación del proyecto

El polvo fugitivo contribuye a la contaminación del aire con material particulado (PM) que proviene de diversas fuentes como la producción de cemento (Lawal O., & Asimiea, A, 2017). La excesiva exposición a polvo fugitivo puede provocar riesgo de combustión, exposición ocupacional, daños en equipos, máquinas, productos, medio ambiente, entre otros (Chuck & Gus C, 2020). Por lo tanto, conocer la concentración de este material particulado, permite comprender los efectos colaterales que estos

polvos pueden presentar y qué acciones de control se pueden tomar para tratar de reducir la concentración de éstos (Chuck & Gus C, 2020).

Realizar una investigación exhaustiva sobre evaluaciones ambientales y ocupacionales de polvo fugitivo llevadas a cabo por la organización, permitió conocer daos hacer de condiciones actuales en temas de seguridad y salud de los colaboradores. Esta indagación facilitará conocer las zonas que han presentado la mayor problemática de exposición. Con ayuda de estos estudios previos es posible generar nuevas estrategias de evaluación de mediciones ambientales de material particulado y ocupacionales de material particulado respirable y sílice cristalina.

El fin principal de este proyecto es recomendar una propuesta de un programa para el control de polvo fugitivo mediante controles a nivel ingenieril y administrativo, con el fin de beneficiar de manera directa a los colaboradores de la organización, quienes se encuentran expuestos a estos polvos por las actividades que realizan diariamente, además de ayudar en la reducción de mantenimientos de máquinas, equipos, zonas o áreas por acumulación de polvo, así como contribuir de manera indirecta en la mejora de la relación entre Holcim y las zonas aledañas a la planta, que puedan verse perjudicadas por una excesiva acumulación de polvo fugitivo.

D. Objetivos del proyecto

1. Objetivo general

Recomendar un programa de control de polvo fugitivo en las instalaciones de Holcim Costa Rica para la protección de los trabajadores expuestos a sílice cristalina y material particulado.

2. Objetivos específicos

- Identificar la situación actual en cuanto a temas relacionados con exposición ambiental y ocupacional a polvo fugitivo en la empresa.

- Evaluar la exposición ambiental a material particulado PM2,5 y PM10 en las zonas seleccionadas por la organización.
- Evaluar la exposición ocupacional a sílice cristalina y material particulado respirable de los colaboradores.
- Diseñar un programa de control de polvo fugitivo para la empresa que contemple controles a nivel ingenieril y administrativo.

E. Alcance y limitaciones

1. Alcance

El programa tiene como alcance cubrir empleados, contratistas y subcontratistas, transportistas, proveedores y visitantes de manera permanente u ocasional para realizar actividades dentro de las instalaciones de Holcim Costa Rica.

2. Limitaciones

Las principales limitaciones a las que se encuentra sujeto este proyecto de graduación son:

- El polvo fugitivo es una actividad previa a la incorporación de los métodos analíticos y validados, por lo que, al realizar las evaluaciones ambientales y ocupacionales, no existe una normativa específica para polvo fugitivo.
- En los muestreos ambientales, la accesibilidad a ciertas áreas de la empresa fue restringida principalmente por la peligrosidad que los equipos y maquinarias representa para la integridad física del evaluador y de los equipos de muestreo.
- Obtener la información del precio por parte de proveedores internacionales, presentó una limitación para poder contar con los precios exactos de los costos de los controles ingenieriles. Por lo que es importante mencionar que una limitación muy importante en la realización de este proyecto fue la incertidumbre de los precios de los controles ingenieriles.

- Para la elaboración del programa de polvo fugitivo se utilizó la INTE 31-09-09:2016 Requisitos para la elaboración de programas de salud y seguridad en el trabajo, a pesar de no ser la última versión, ya que INTE T29:2016 que corresponde a la versión actual no se encontraba disponible en la base de datos de la biblioteca José Figueres Ferrer.

II. Marco Teórico

El desarrollo industrial induce una fuerte reactivación socioeconómica y mejoras en la calidad de vida de la población, pero, por otro lado, puede provocar modificaciones que ocasionan el desequilibrio de ecosistemas, diversas formas de contaminación, así como otros problemas ambientales y sociales (Suárez & Molina, 2014). El sector cementero no es la excepción por sus características productivas, el uso elevado de energía, agua y minerales es considerada una actividad de alto impacto ambiental, además es uno de los principales contribuyentes a efectos negativos en el ambiente (Poudyal & Adhikari K, 2021), ya que aproximadamente 4,1 mil millones de toneladas métricas de cemento se producen actualmente en todo el mundo cada año, lo que equivale alrededor del 8 al 10 por ciento del monóxido de carbono (CO) de emisiones antropogénicas globales (Wang, 2020).

El alto impacto del sector cementero tiene relación directa con la presencia de distintos riesgos como son la propagación de polvos y partículas en el ambiente (Carrasco et al., 2017). Dentro de las principales acciones que debe considerar este sector es proponer acciones para mitigar y reducir las emisiones contaminantes. En cuanto a los riesgos de emisiones al ambiente, es importante mencionar que éstas se encuentran en todas las etapas del proceso productivo de fabricación de cemento, por lo que su control implica una ardua labor y responsabilidad por parte de las organizaciones (Castillo & Seijas S, 2019).

El Instituto para la Salud Geoambiental de España (2013) menciona que a nivel ambiental el nombre que reciben estas emisiones es material particulado (PM, por sus siglas en inglés). La Organización Panamericana de la Salud (2018) describe a las PM como un tipo de indicador de la contaminación del aire, además indica que los principales componentes de las PM son sulfatos, los nitratos, el amoníaco, el cloruro de sodio, el hollín, los polvos minerales y el agua. Un factor importante por mencionar es que puede provocar reacciones químicas con el aire, por lo que de manera general

se pueden definir como “complejas mezclas de partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire” (OPS, 2018).

Una característica importante de estas partículas es que pueden variar en tamaño y composición, a través de varios procesos como el vapor de condensación, la evaporación, la coagulación de las colisiones del movimiento browniano por la hidrodinámica y fuerzas gravitacionales o eléctricas (Fang et al., 2006). Por lo que, en conclusión, se puede mencionar que el material particulado posee una amplia gama de propiedades morfológicas, químicas, físicas y termodinámicas (EPA, 2004).

Conocer la composición química del material particulado, tiene relevancia no sólo desde el punto de vista de la química de la atmósfera, sino también sobre la calidad del aire (Quijano, A., Quijano, M., y Henao, J, 2010). A partir del conocimiento de estas variables se puede determinar qué medidas de control se pueden aplicar para reducir la emisión a la atmósfera, dependiendo de características físicas como el diámetro de partícula (Román, 2013).

Según el tamaño de la partícula, éstas no sólo pueden afectar el ambiente, sino provocar daños a nivel de salud. El PM puede clasificarse según su dimensión en diámetros de 10 micrones o menos (\leq PM10) y en partículas que contienen un diámetro de 2,5 micrones o menos (\leq PM2,5). Las PM10 y PM2,5 pueden penetrar distintos tractos del sistema respiratorio dependiendo de su tamaño (Instituto para la Salud Geoambiental, 2013). En el caso de las PM10, cuando una persona se encuentra expuesta, éstas son atrapadas por las defensas naturales del cuerpo y se depositan en la nariz, garganta, laringe y la tráquea, antes de ser tosidas o tragadas y en el caso de las PM2,5 llegan al interior de los pulmones alcanzando los bronquios, por lo que su impacto es mayor (Haughnessy et al., 2015).

Algunos estudios científicos han confirmado la estrecha relación cuantitativa entre la exposición a altas concentraciones de pequeñas partículas (PM10 y PM2,5) y los efectos sobre la salud humana (Aslam et al., 2020). La exposición a partículas conlleva a tomar medidas de control incluso en muy bajas concentraciones, ya que no se ha

podido identificar ningún umbral por debajo del cual no se hayan observado daños para la salud (OMS, 2018). Por lo que una exposición crónica, aunque sea en bajas concentraciones, aumenta el riesgo de enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer de pulmón (Instituto para la Salud Geoambiental, 2013).

A nivel de industrias cementeras se produce y fabrica polvo, el cual es uno de los tipos más comunes de PM10 y PM2,5. El polvo fabricado es un material pulverulento seco y caliente, y a lo largo de la línea de producción existen áreas donde se generan escapes de este polvo que puede provenir de chimeneas o de fuentes dispersas. Cuando se habla específicamente del polvo proveniente de fuentes dispersas, corresponde a aquellas que no son canalizadas por ductos, chimeneas u otros sistemas hacia el exterior, sino que son provenientes de carreteras, construcciones, demoliciones, acarreo, almacenamiento, transporte de material, entre otros (Chaulya et al., 2021).

Este tipo de polvo proveniente de fuentes dispersas es conocido como polvo fugitivo (Ministerio del Medio Ambiente, 2015), el cual “consiste en material particulado no puntual resuspendido y es un problema para la salud y el ambiente” (Pouliot et al., 2011). A nivel de plantas de fabricación de cemento, las emisiones de polvo fugitivo son constantes, y una de las actividades en las que se produce la mayor cantidad de emisión de polvo es en el tráfico vehicular, el cual transporta estas emisiones desde las instalaciones hacia el exterior de la planta. De acuerdo con Barnes, D., & Connor, B. (2014) los tres mecanismos que lo generan son:

1. Empuje y desplazamiento de partículas de polvo hacia el aire una vez que entran en contacto con la llanta.
2. El desplazamiento de masas de aire provocadas por el movimiento del vehículo, las cuales generan remolinos o turbulencia que desarrollan a su vez pequeños esfuerzos cortantes sobre la superficie y que son capaces de levantar las partículas del suelo hasta mantenerlas suspendidas por cierto tiempo.

3. El desplazamiento de partículas entre sí, que se da al momento de caer y chocar unas sobre otras.

El control de estos polvos en el tráfico vehicular tiene como finalidad disminuir el transporte de estas emisiones a largas distancias, donde se pueda aumentar el número de personas y zonas afectadas. Un aspecto importante por considerar es que las emisiones de polvo fugitivo pueden crear situaciones peligrosas, como por ejemplo presentar una baja visibilidad (Kavazanjian et al., 2020) y provocar accidentes considerables, más si se toma en cuenta el tamaño del equipo pesado que es utilizado para extraer el material en las canteras de las fábricas cementeras.

Por otro lado, el polvo fugitivo debe ser controlado y regulado por las organizaciones para reducir los niveles de exposición, ya que a nivel laboral cuando se habla de polvo fugitivo y su generación en industrias cementeras se debe considerar la exposición a dos grandes agentes químicos: el material particulado respirable (MPR) que corresponde a partículas menores de 10 μm o sea PM10 (Safe Welding, 2021) y la sílice cristalina, la cual es un componente natural que se encuentra en forma abundante en rocas, suelo y arena, también se encuentra en el hormigón, el ladrillo, el mortero y en otros materiales para la construcción. La sílice cristalina puede presentarse en varias formas, pero el cuarzo es la más común (Instituto Nacional del Cáncer, 2015).

La máxima prioridad en la industria del cemento es minimizar los niveles de partículas de polvo fugitivo, tanto a nivel ambiental (PM2,5 y PM10) como ocupacional (MPR y sílice cristalina) (Cheremisinoff & Davletshin P, 2008). Por lo que de ahí surge la importancia de realizar evaluaciones relacionadas con la exposición a polvo fugitivo, para establecer la implementación de programas que conlleven a la aplicación de controles a nivel ingenieril y administrativo efectivos que permitan reducir la exposición de los trabajadores a estos agentes. Estas evaluaciones e implementación de programas deben ir acompañadas de requisitos legales. En Costa Rica se dispone del Reglamento de Calidad del Aire para Contaminantes Criterio, Decreto Ejecutivo N° 39951-S (2016), donde se indican valores máximos permitidos de concentración en el

aire ambiente de PM10, PM2,5 y otros contaminantes de los cuales sea necesario proteger a la población (Sistema Costarricense de Información Jurídica, 2016).

A nivel ocupacional se cuenta con el Reglamento para la Prevención de la Silicosis en los Centros de Trabajo, que establece, entre otras medidas, que las personas empleadoras deben implementar controles de ingeniería y la utilización de equipos de protección personal como son los respiradores, con el fin de prevenir que las personas expuestas directamente a la sílice cristalina respirable inhalen dichas partículas de polvo y se les acumulen en los pulmones (Sistema Costarricense de Información Jurídica, 2015).

Sumado a los reglamentos mencionados anteriormente, se debe tener en consideración lo indicado por el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) con la norma INTE 31-08-04:2016 Concentraciones ambientales máximas permisibles en los centros de trabajo. Esta norma nacional establece los Valores Umbrales Límite de Exposición (TLV, por sus siglas en inglés), los cuales corresponden a concentraciones de sustancias químicas que se encuentran en suspensión en el aire. Esta norma tiene como finalidad mencionar las condiciones por debajo de las cuales se cree que casi todos los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente día tras día, durante su vida laboral, sin sufrir efectos adversos para la salud (Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica, 2016).

III. Metodología

A. Tipo de investigación

El proyecto correspondió a una investigación de tipo descriptiva, ya que pretendió medir, evaluar y recoger datos (Morales, F., 2012) acerca de la exposición a polvo fugitivo, junto con una investigación de tipo explicativa se establecieron causas y consecuencias de esta exposición (Morales, F., 2012), y con ayuda de una investigación de tipo aplicada se buscó solucionar un problema (Vargas & Zoila R., 2009) mediante un programa para el control del polvo fugitivo en las instalaciones de Holcim Costa Rica para la protección de los trabajadores expuestos a sílice cristalina y materia, particulado..

B. Fuentes de información

Para llevar a cabo la investigación de este proyecto se utilizaron diferentes fuentes de información, dentro de las cuales se encuentran:

- Fuentes primarias
 - Entrevista semiestructurada a médico de empresa
 - Repositorio del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR)
 - Ángulo, A. (2019). Programa de control de riesgos de accidentes derivados de las actividades de trasiego, manipulación y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas para el Instituto Tecnológico de Costa Rica, campus Cartago
 - Chacón, Y. (2019). Programa para la gestión de la seguridad del riesgo químico en las actividades de ingreso, etiquetado, transporte y almacenamiento de sustancias en la bodega de materia prima de la planta división limpieza de Grupo Irex de Costa Rica S.A.

- Bonilla, O. (2019). Programa de protección respiratoria para el personal expuesto a sílice cristalina en el área de planta y taller de mantenimiento del Quebrador Ochomogo Ltda.
- Fuentes secundarias
 - Normativas y reglamentos dentro de los que se pueden mencionar:
 - Reglamento de Calidad del Aire para Contaminantes Criterio, Decreto Ejecutivo N° 39951-S (2016)
 - Ley Orgánica del Ambiente
 - Ley General de Salud N° 5395
 - INTE 31-08-04:2016 Concentraciones ambientales máximas permisibles en los centros de trabajo.
 - UNE EN 689:2019 Exposición en el lugar de trabajo. Medición de la exposición por inhalación de agentes químicos. Estrategia para verificar la conformidad con los valores límite de exposición profesional
 - INTE 31-09-09:2016 Requisitos para la elaboración de programas de salud y seguridad en el trabajo.
 - Estándares de la organización
 - SG 11 Monitoreo de higiene industrial y salud
- Fuentes terciarias
 - Páginas web
 - Asociación Americana del Pulmón
 - Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés)
 - Instituto para la Salud Geoambiental de España
 - Organización Panamericana de Salud (OPS)
 - Organización Mundial de la Salud (OMS)
 - Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamental (ACGIH, por sus siglas en inglés)
 - Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, por sus siglas en inglés)

- Bases de datos
 - EBSCO
 - Elsevier
 - Google Scholar
 - Proquest
 - Science Direct
 - Springerlink
 - Kovel

C. Población y muestra

La población de este proyecto de graduación se basó en una parte de la población de colaboradores de la empresa Holcim Costa Rica, quienes se encuentran expuestos directamente a polvo fugitivo debido a las actividades diarias que realizan. Es importante mencionar que se realizaron dos evaluaciones de muestreo, una a nivel ambiental y otra ocupacional, por lo tanto, la población y muestra en cada estrategia fue distinta. En la estrategia ambiental la muestra fueron áreas geográficas dentro de las instalaciones de la empresa y en el caso de la ocupacional, fueron trabajadores expuestos.

En el muestreo ambiental, la estrategia como la muestra fueron proporcionadas por la organización a partir de estudios previos realizados en el 2017. En ese año se muestrearon 17 zonas, las cuales fueron: el molino de crudo, Molino de Horomill, molino de coke, quebrador primario, silo de clínker, reclamador, BESTA, CEPAL, pasillo de horno, despacho interno, granel sur, silo 10, Torre, molino de puzolana, molino 3 y piso de peatones.

Para el caso del muestreo ambiental, la organización propuso replicar las mediciones realizadas en el 2017 en aquellas zonas que presentaron los valores de concentración por encima del límite de acción y del TLV. Es importante mencionar que se eliminaron zonas de la muestra, como el molino de puzolana, ya que este fue eliminado del proceso productivo por temas relacionados a reducción de costos,

electricidad y mantenimientos. Otra de las áreas eliminadas fueron la Torre, el Horno, BESTA y pasillo de peatones, debido a que, en mediciones anteriores, las mismas no presentaron valores por encima del límite de acción. En el cuadro 1 se representa un resumen de las zonas que fueron muestreadas, tomando en consideración lo mencionado anteriormente.

Cuadro 1. Zonas a muestrear dentro de la planta de cemento

Zona	Sitio específico
Zona de trituración	Quebrador primario
	Pre homogeneizador 1 y 2
	Reclamador
Zona molienda de crudo	Tolvas de crudo
	Rechazo molino de crudo
	Filtro que presuriza el molino
Zona de cocción	Enfriador
Zona de molienda de cemento	Tolvas materias primas molino 3
	Horomill
	Silo de clínker
Zona de coke	Rechazo molino de coke
Zona de despacho interno	Despacho interno
Elevador de harina 490s2	Elevador de harina 490s2
Zona centro de paletizado (CEPAL)	G10 PTR
	Piso 3
	Salida de extractores
	Paso montacargas
	Ensacadora
	Frente a silo 10
	Despacho interno

Ahora bien, con respecto a la estrategia de muestreo ocupacional, al considerar el costo y el tiempo requerido para muestrear a una cantidad de personas elevada, se tomó en cuenta lo mencionado por la norma UNE-EN 689:2019, que establece una estrategia de muestreo basada en la creación de grupos de exposición similar (GES). De igual manera, esta normativa menciona que para contar con un muestreo significativo es posible muestrear como mínimo a tres trabajadores por cada uno de los grupos de exposición similar (GES). En el caso de Holcim se seleccionaron cuatro grupos de exposición similar, los cuales correspondieron a: (i) área producción, (ii) mantenimiento mecánico, (iii) mantenimiento eléctrico y preventivo y (iv) CEPAL.

En resumen, para el muestreo ocupacional se realizaron 12 muestras de sílice cristalina y 12 de material particulado respirable. Cada uno de los GES seleccionados estaba conformado por tres personas, por lo que la muestra total del muestreo ocupacional fue de 24 colaboradores.

D. Operacionalización de variables

A continuación, se detalla la operacionalización de variables para este proyecto, donde se representa cada objetivo específico con su respectiva variable de análisis y la contextualización de ésta, así como las herramientas que permitieron obtener los indicadores, asociados al cumplimiento del objetivo específico estudiado

Cuadro 2. Operacionalización de variables por cada objetivo específico

Objetivo específico	Variable	Conceptualización	Indicadores	Instrumentos
Identificar la situación actual en cuanto a temas relacionados con la exposición ambiental y ocupacional a polvo fugitivo en Holcim	Situación actual de la exposición ambiental y ocupacional a polvo fugitivo	Condiciones o situaciones relacionadas con la exposición ambiental y ocupacional a polvo fugitivo en el desarrollo normal de las actividades diarias de los colaboradores de la organización	Cantidad de zonas muestreadas en la planta de cemento	Informe de la evaluación ambiental realizada por la organización
			Niveles de exposición ocupacional a material particulado respirable y sílice cristalina identificados	Informe de la evaluación ocupacional realizada por la organización
			Cantidad de espirometrías realizadas a los trabajadores	Entrevista semiestructura al médico de empresa sobre la cantidad de espirometrías realizadas a los trabajadores

Objetivo específico	Variable	Conceptualización	Indicadores	Instrumentos
<p>Identificar la situación actual en cuanto a temas relacionados con la exposición ambiental y ocupacional a polvo fugitivo en Holcim</p>	<p>Situación actual de la exposición ambiental y ocupacional a polvo fugitivo</p>	<p>Condiciones o situaciones relacionadas con la exposición ambiental y ocupacional a polvo fugitivo en el desarrollo normal de las actividades diarias de los colaboradores de la organización</p>	<p>Cantidad y tipos de tareas que se realizan en la planta</p> <p>Tipo de jornada laboral y horarios</p> <p>Cantidad y tipos de equipos de protección personal utilizados</p> <p>Cantidad de zonas con mayor problemática de exposición a polvo</p> <p>Cantidad de controles a nivel ingenieril y administrativo relacionados con exposición a polvo fugitivo</p>	<p>Encuesta higiénica sobre condiciones generales de los trabajadores expuestos, controles ingenieriles y administrativos relacionados con la exposición a polvo fugitivo que será aplicada a la analista de H&S</p>

Objetivo específico	Variable	Conceptualización	Indicadores	Instrumentos
<p>Evaluar la exposición ambiental a material particulado PM2,5 y PM10 en las zonas seleccionadas por la organización</p>	<p>Exposición ambiental a material particulado PM2,5 y PM10</p>	<p>Nivel de exposición ambiental de material particulado específicamente partículas de diámetro entre 2,5 y 10 micrómetros aproximadamente en zonas que la organización ha decidido muestrear por posible acumulación de PM.</p>	<p>Concentración de material particulado PM2,5 y PM10</p>	<p>Estrategia de muestreo ambiental para la determinación de valores PM2,5 y PM10</p>
			<p>Cantidad de puntos de medición Cantidad de zonas con bajo, medio y alto nivel de polvo</p>	<p>Aplicación desarrollada por la organización para la ubicación geográfica de zonas y clasificación de zonas en bajo, medio y alto</p>
			<p>Cantidad de mediciones por punto Duración de las mediciones en cada uno de los puntos</p>	<p>Acta de muestreo para evaluar la exposición ambiental</p>

Objetivo específico	Variable	Conceptualización	Indicadores	Instrumentos
Evaluar la exposición ocupacional a material particulado respirable y sílice	Exposición ocupacional a sílice cristalina	Nivel de exposición ocupacional a sílice cristalina a la que se encuentran expuestos los colaboradores de la organización.	Niveles de exposición a material sílice cristalina	Estrategia de muestreo ocupacional para la determinación de sílice cristalina
	Exposición ocupacional a material particulado respirable	Nivel de exposición ocupacional a material particulado respirable a la que se encuentran expuestos los colaboradores de la organización	Niveles de exposición a material particulado respirable	Estrategia de muestreo ocupacional para la determinación de material particulado respirable
			Cantidad de mediciones Tiempos de medición	Acta y bitácora de muestreo ocupacional por agente químico
Diseñar un programa de control de polvo fugitivo que contemple controles a nivel ingenieril y administrativo.	Programa de control de polvo fugitivo	El programa de control de polvo fugitivo consiste en una planificación detallada de una serie de actividades y tareas que permitan el control del polvo fugitivo en las instalaciones de Holcim.	Cantidad de elementos que conforman el programa de control de polvo fugitivo	INTE 31-09-09:2016 Guía para la elaboración del programa de salud y seguridad en el trabajo.
			Fecha de inicio y finalización Cantidad de actividades y tareas	Diagrama Gantt

Objetivo específico	Variable	Conceptualización	Indicadores	Instrumentos
Diseñar un programa de control de polvo fugitivo que contemple controles a nivel ingenieril y administrativo.	Programa de control de polvo fugitivo	El programa de control de polvo fugitivo consiste en una planificación detallada de una serie de actividades y tareas que permitan el control del polvo fugitivo en las instalaciones de Holcim.	Cantidad de responsables de la implementación del programa	Matriz de asignación de responsabilidades (matriz RACI)
			Cantidad de involucrados en el programa	Matriz de interesados
	Controles ingenieriles	Los controles de ingeniería involucran el rediseño y diseño de equipamiento, procesos o de la organización del trabajo, con el fin de reducir los riesgos asociados a la exposición de algún peligro que pueda presentar daños severos para las personas, empresas, comunidades, entre otros.	Cantidad de requisitos que cumplen los controles ingenieriles	Matriz de cumplimiento de los controles ingenieriles basada en el Reglamento para la prevención de la silicosis en los centros de trabajo

Objetivo específico	Variable	Conceptualización	Indicadores	Instrumentos
Diseñar un programa de control de polvo fugitivo que contemple controles a nivel ingenieril y administrativo.	Controles administrativos	Cuando no es posible colocar controles de ingeniería que eliminen o reduzcan el peligro, la utilización de los controles administrativos genera conciencia y advierte al trabajador acerca de un peligro determinado y de las medidas que se deben tomar para mitigarlo.	Cantidad de áreas en las que es aplicable un mismo diseño para el control del polvo fugitivo	Planos arquitectónicos de la organización para ubicar el control ingenieril elegido
			Cantidad de requisitos con los que cumplen los controles administrativos	Matriz de cumplimiento de los controles administrativos basada en el Reglamento para la prevención de la silicosis en los centros de trabajo

E. Descripción de instrumentos

A continuación, se describen los instrumentos que fueron utilizados para el cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos que conforman la operacionalización de variables.

1. Situación actual de la exposición ambiental y ocupacional a polvo fugitivo

- Informe de evaluación ambiental

Un informe de evaluación ambiental consiste en un documento que reúne información detallada de todos los elementos relacionados con una evaluación específica (Ruíz, 2020). En este caso, el informe de evaluación ambiental realizado en el año 2017 fue utilizado para recopilar información acerca de datos de mediciones de material particulado.

Esta herramienta permitió conocer los valores ambientales muestreados y las zonas que presentaron mayores y menores niveles de exposición a polvo, por lo que, a partir de las 17 zonas muestreadas en el año 2017, la organización estableció que se muestrearán aquellas zonas que presentaban los valores más críticos, excluyendo las áreas mencionadas en el apartado de población y muestra.

- Informe de evaluación ocupacional

El informe de resultados de la evaluación ocupacional corresponde a un documento realizado en el año 2018, donde se reúnen datos acerca de valores de exposición ocupacional a sílice cristalina y material particulado respirable de los trabajadores de la planta de cemento. Esta herramienta fue de utilidad para analizar la situación actual, estudiar la estrategia de muestreo, obtener información acerca de los casos más severos, tiempos de muestreo y cantidad de colaboradores muestreados, entre otros datos que aportaron información valiosa.

- Entrevista semiestructurada

Las entrevistas semiestructuradas son herramientas que ofrecen al investigador un margen de maniobra considerable para sondear a los encuestados conservando la estructura básica de la entrevista. De manera general, se puede mencionar que este tipo de entrevista permite flexibilidad para que el investigador pueda obtener información detallada acerca de un tema (Díaz, L., et al.,2013).

En el caso de este proyecto de graduación, se realizó una entrevista semiestructura al médico de empresa para contar con información acerca de la cantidad de espirometrías que han sido realizadas a los trabajadores de la planta de cemento y posibles complicaciones de salud relacionadas con la exposición a polvo fugitivo. La validación de esta herramienta (véase apéndice 4) se realizó con ayuda de la enfermera del consultorio médico Jimena Chávez.

- Encuesta higiénica sobre los controles ingenieriles y administrativos

La encuesta higiénica es un instrumento que consiste en el estudio, a través de un formulario, de ciertas condiciones en el entorno de trabajo y que tiene como finalidad recoger datos e indicadores acerca de los posibles factores higiénicos que existen en una organización, entiéndase como factores higiénicos todos aquellos aspectos y condiciones que rodean el puesto de trabajo y que pueden ocasionar un daño al trabajador. La importancia de la encuesta higiénica radica en que es una vía de información acerca de los riesgos a los que pueden encontrar expuestos los trabajadores (Alonso, s.f.).

La encuesta higiénica que se formuló para este proyecto permitió conocer información sobre las condiciones generales de la organización, tales como la cantidad y tipos de tareas que se realizan en la planta, cantidad y tipos de equipos de protección personal, así como cantidad de controles a nivel ingenieril y administrativo que ha implementado la organización. Es importante mencionar que esta herramienta fue validada mediante juicio de expertos con ayuda de la Ingeniera Verónica María Castro

analista de H&S en Holcim Costa Rica y la profesora de la Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental Gabriela Rodríguez (véase apéndice 5).

2. Exposición ambiental a material particulado PM2,5 y PM10

- Estrategia de muestreo ambiental para la determinación de valores PM2,5 y PM10

La estrategia de muestreo ambiental es proceso de toma de muestras realizada en una instalación, un área de trabajo o en un punto concreto de un equipo o máquina de trabajo con el fin de obtener un valor de su concentración ambiental (Organización Iberoamérica de Seguridad Social, 2016). En este proyecto, la estrategia de muestreo ambiental empleada es una metodología proporcionada por el corporativo de Holcim (véase apéndice 6), la cual permitió determinar los valores de concentración de material particulado en los diámetros de 2,5 y 10 micrómetros. Es importante mencionar que esta estrategia se aplica desde Julio de 2021 en todas las plantas cementeras Holcim.

- Aplicación desarrollada por la organización la ubicación geográfica de las zonas

Actualmente, Holcim cuenta con una aplicación que permitió ubicar por coordenadas geográficas las áreas en donde se realizó el muestreo ambiental, mediante el Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés). Esta aplicación se descargó en el celular del evaluador y una vez obtenidos los datos del muestreo ambiental, se introdujeron dentro de la aplicación, la cual tuvo la función de clasificar las zonas muestreadas como de alta, media y baja concentración de polvo.

- Acta de muestreo para evaluar la exposición ambiental

El acta de muestreo para evaluar la exposición ambiental (véase apéndice 7) consistió en una herramienta que permitió registrar los detalles de los datos muestreados, tales como el control de la zona muestreada y los sitios específicos de muestreo, además permitió recopilar información acerca de la fecha, hora, valor de

concentración PM_{2,5} y PM₁₀ y algunas observaciones importantes relacionadas con condiciones climatológicas, paros repentinos, fallos en el equipo de muestreo y condiciones externas que no pudieron controlarse en los muestreos.

3. Exposición ocupacional a sílice cristalina y material particulado respirable

- Estrategia de muestreo ocupacional para la determinación de valores a sílice cristalina y material particulado respirable

En el caso de la estrategia de muestreo ocupacional esta herramienta fue utilizada para la determinación del nivel de exposición de los colaboradores a sílice cristalina y MPR. El objetivo de toda estrategia de muestreo es obtener resultados que permitan de manera confiable conocer las concentraciones a agentes químicos a los que se pueden encontrar expuestos los trabajadores día tras día (Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Social de España, 2018).

Es importante mencionar que para llevar a cabo la estrategia se utilizó como guía la UNE EN 689 “Exposición en el lugar de trabajo. Medición de la exposición por inhalación de agentes químicos. Estrategia para verificar la conformidad con los valores límite de exposición profesional”. Como punto de partida para llevar a cabo la estrategia de muestreo, se conformaron cuatro grupos de exposición similar (GES) los cuales correspondieron a las áreas de producción, mantenimiento mecánico, mantenimiento (eléctrico y preventivo) y CEPAL.

Esta estrategia se recomienda cuando no se puede realizar un muestreo significativo de la población, sugiere iniciar con tres muestras por cada grupo de exposición similar, tomando en consideración que si alguno de los datos que conforman cada uno de los GES se encuentran por debajo del 10 % del TLV, el cual corresponde a 0,025 mg/m³ TLV-TWA en el caso de sílice cristalina y 3 mg/m³ para material particulado respirable, se puede asumir que el riesgo es aceptable, si por el contrario existe uno de los tres valores que se encuentre por encima del TLV se concluye que el riesgo es inaceptable. En el caso de que uno de los valores de cada

GES esté entre el 10 % del TLV y el TLV esto conduce a una zona de indecisión por lo que se deberá aumentar la muestra.

Es importante mencionar que para realizar el muestreo y el análisis de las muestras se tomó como respaldo los métodos MDHS 14/4 para el caso de material particulado respirable y para sílice cristalina NIOSH 7601. El análisis de las muestras y el reporte de los resultados de las masas de ambos agentes químicos se llevó a cabo en el Laboratorio de Higiene Analítica del ITCR. Para el análisis de los datos se utilizaron pruebas no paramétricas, ya que los valores de concentración no seguían una distribución normal, además que el tamaño de la muestra era relativamente pequeño comparado con la cantidad de personas muestreadas por la empresa en años anteriores.

- Acta y bitácora de muestreo para evaluación ocupacional por agente químico

En el caso del acta de muestreo ocupacional se realizaron dos, una para sílice cristalina y otra para MPR (apéndice 8). En ambos casos las actas tuvieron como finalidad recopilar información sobre la temperatura, presión atmosférica, datos sobre el blanco de campo, nombre del trabajador, el sitio/puesto en el que se desarrolla, el código de la muestra y bomba, así como los datos de flujo inicial y final en litros por minuto, hora inicial y final de muestreo. Las actas de muestreo se acompañaron de una bitácora de muestreo que permitió llevar un control de las mediciones y algunas observaciones importantes que fueron útiles en el análisis de los datos.

4. Programa de control de polvo fugitivo

- INTE 31-09-09:2016 Requisitos para la elaboración de programas de salud y seguridad en el trabajo

La norma nacional INTE 31-09-09:2016 Requisitos para la elaboración de programas de salud y seguridad en el trabajo, es un marco de referencia que permitió establecer los parámetros fundamentales con los que debía contar el programa de control de polvo fugitivo de la empresa, basado en dos controles principales: los

ingenieriles y administrativos.

- Diagrama de Gantt

El diagrama de Gantt es una herramienta que se representa mediante un gráfico de barras horizontales, ordenadas por actividades a realizar en secuencias de tiempo concretas (Pérez, 2021). Es útil para planificar proyectos, ya que es un instrumento que proporciona una vista general de las tareas programadas y las partes implicadas (Teamleader, 2019).

Es importante mencionar que el diagrama de Gantt que se realizó en este proyecto permitió conocer la fecha de inicio y finalización de la implementación del programa de control de polvo fugitivo por parte de la empresa, qué tareas había dentro del mismo y una estimación de cuánto tiempo llevaría la implementación de cada tarea.

- Matriz de asignación de responsabilidades

La matriz de asignación de responsabilidades o matriz RACI se utiliza para asignar y definir el grado de responsabilidad que le corresponde a cada una de las personas que están involucradas en la realización de un proyecto (Longarini, 2011). Según Longarini (2011), el nombre que recibe esta herramienta se debe a que cada una de las letras que la conforman tienen un significado:

- La letra R es sobre quien asume la responsabilidad. Esta letra define el rol de la persona que se encuentra encargada de realizar una determinada tarea. Por lo tanto, toma la responsabilidad de entregar la tarea terminada en el tiempo y la forma establecida.
- Letra A determina quien aprueba. El papel de la persona que actuará como aprobador es aceptar y aprobar la tarea entregada por la persona responsable.
- Letra C es sobre quien es consultado. Por lo general son personas expertas o conocedoras sobre un tema y tarea, que son consultadas para

que opinen y sugieran sobre algún aspecto de las tareas del proyecto.

- Letra I es sobre quien informa. El rol de estas personas involucra a todo individuo que debe ser informado sobre el proceso de evolución y desarrollo de las tareas que forman parte del proyecto.

Uno de los aspectos más importantes por considerar en la creación de un programa es la asignación de responsabilidades dentro del mismo, así como el involucramiento de todas las áreas que conforman la empresa, para que las metas que se propongan se cumplan de acuerdo con los objetivos.

- Matriz de interesados

La matriz de interesados es una herramienta que permitió definir los involucrados en el proyecto, así como su nivel de influencia y las actividades que deberían realizar para el cumplimiento de los objetivos del programa de control de polvo fugitivo.

- Matriz de cumplimiento de los controles ingenieriles y administrativos

La matriz de cumplimiento de los controles ingenieriles y administrativos se basó en el Reglamento para la prevención de la silicosis en los centros de trabajo que establece, entre otras medidas, que las personas empleadoras deben implementar controles de ingenieriles y administrativos, que permitan prevenir que las personas expuestas directamente a la sílice cristalina inhalen dichas partículas de polvo y se les acumulen en los pulmones (CSO, s.f.).

- Planos arquitectónicos de la organización

Los planos de la organización consistieron una herramienta que permitió ubicar todas las zonas muestreadas, con el fin de establecer aquellas que contaban con características similares para posteriormente analizar si un mismo control ingenieril podía aplicarse a distintas zonas, tomando en consideración que puede que se

necesiten realizar ajustes para que cada control se acople a las necesidades de la fuente de inmisión de polvo fugitivo a controlar.

F. Plan de análisis

El punto de partida del plan de análisis, se desplegó del desarrollo del objetivo específico 1 el cual consistió en identificar la situación actual de la organización en cuento a temas relacionados a polvo fugitivo, de este se desplegaron una serie de herramientas e indicadores que permitieron poner en marcha los siguientes dos objetivos específicos que se encontraron relacionados con estrategias de muestreo, una a nivel ambiental donde se muestreo PM_{2,5} y PM₁₀, y la segunda que permitió recopilar datos sobre la exposición ocupacional a sílice y MPR.

Seguidamente integrada esta información junto con las herramientas e indicadores correspondientes, se propone el cuarto objetivo específico, diseñar un programa de control de polvo fugitivo para la protección de los trabajadores expuestos a sílice cristalina y material particulado respirable, que contemple controles ingenieriles y administrativos, que de igual forma que los demás objetivos específicos se encontraron acompañados de una serie de herramientas e indicadores. A continuación, en la figura 5 se representa un esquema general del plan de análisis de este proyecto:

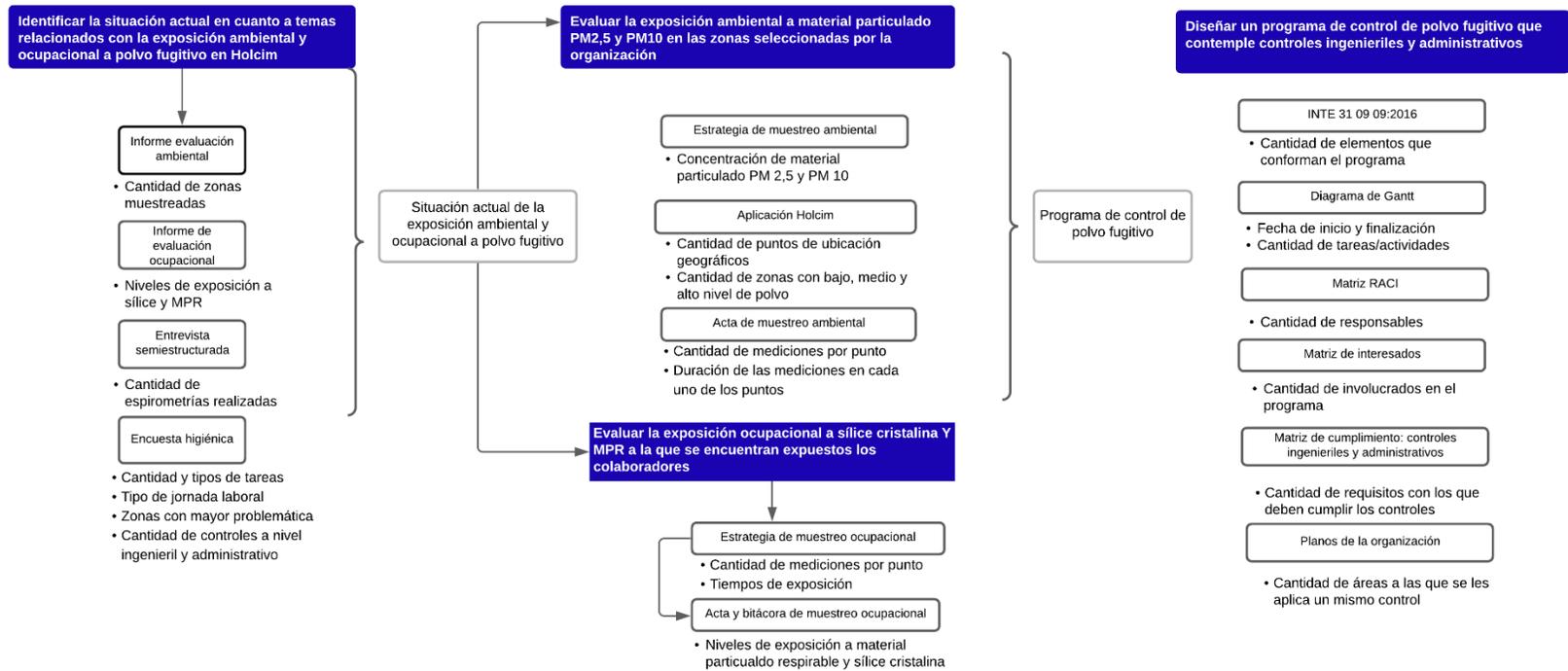


Figure 2. Representación del plan de análisis

1. Situación actual de la exposición ambiental y ocupacional a polvo fugitivo

Como se mencionó anteriormente, el primer paso de este plan de análisis fue identificar la situación actual de la organización en cuanto a temas relacionados con la exposición a polvo fugitivo, tanto a nivel ambiental como ocupacional, para conocer cuáles han sido las acciones que se han tomado por parte de la empresa para el control y la reducción de este agente.

La primera herramienta que se utilizó fue el informe de evaluación ambiental realizado por la organización en el año 2017, de donde se extrajo información sobre los datos obtenidos del muestreo, fue posible analizar la metodología utilizada para la toma de mediciones, en este caso se utilizó el equipo HAZ Dust IV HD-serie 03164817, éste es un instrumento de lectura directa que permite cuantificar en tiempo real los contaminantes, no requiere de un análisis posterior en algún laboratorio. Con respecto a la normativa aplicable para este caso se consideró lo establecido por la NIOSH 0600 y para la determinación de los valores límites máximos de exposición se estableció un valor de 3 mg/m^3 según lo establece la ACGIH.

La segunda herramienta utilizada fue el informe de las evaluaciones ocupacionales del año 2018, con éste se obtuvo información acerca de los niveles de exposición a sílice cristalina y MPR a la que se encontraban expuestos los trabajadores dentro de la planta y los equipos de muestreo utilizados. En el caso de sílice se utilizó un ciclón de nylon, porta filtros de tres cuerpos, filtros PVC de 37 mm y $5 \mu\text{m}$ de poro y para MPR ciclón de nylon, porta filtros de dos cuerpos y filtros PVC de 37 mm y $0,8 \mu\text{m}$ de poro. Para el análisis de las muestras se utilizaron los métodos NIOSH 7601 para sílice y MDHS 14/4 para MPR.

Además, de este informe se pudo determinar la cantidad personas muestreadas que correspondieron a 44 para sílice y 42 para MPR, tiempos de muestreo, los puestos de trabajo muestreados: mantenimiento eléctrico, preventivo y mecánico, producción, supervisores, operadores de equipo móvil, montacarguista, técnicos de proceso y

operadores de equipo pesado, los turnos de trabajo: 6:00 a.m. a 2:00 p.m. y 7:00 a.m. a 5:00 p.m., donde se consideró que para poder abarcar a la población el muestreo se realizó en 8 días, muestreando 70 % de la jornada laboral de cada uno de los trabajadores que participaron. Asimismo, se pudo obtener información de los valores máximos permitidos, para este caso fueron considerados los emitidos por la INTE 31-08-04:2016 Concentraciones ambientales máximas permisibles en los centros de trabajo, en el caso de sílice corresponde a un valor de TLV-TWA 8 horas 0,025 mg/m³ y para material particulado respirable se tomó en cuenta un valor de 3 mg/m³ según lo estipula la ACGIH.

Otra herramienta utilizada para comprender la situación actual fue mediante la creación y aplicación de una entrevista semiestructurada al médico de empresa de la planta de cemento para obtener información acerca del proceso de aplicación de espirometrías y otros controles médicos que se realizan anualmente en la organización para proteger la salud de los trabajadores.

La encuesta higiénica se utilizó con el propósito de conocer cantidad y tipos de tareas que se realizan en planta, tipo de jornada laboral y horarios, cantidad, zonas que han presentado las mayores problemáticas por la inmisión de altas concentraciones de polvo fugitivo, además de mecanismos de control a nivel ingenieril y administrativo que se han implementado en la organización.

Adicionalmente en la encuesta higiénica se obtuvo información acerca del equipo de protección respiratoria utilizada por los trabajadores de la planta de cemento, la selección del mismo y otros factores como los tipos de filtros, accesorios, la importancia de las pruebas de ajuste que se realizan, ya que los EPR tienen tallas o tamaños que podrían no adecuarse a la cara del usuario, por fisionomía u otras características del propias de quien lo utiliza, que no permiten una hermeticidad apropiada del equipo. La medición por pruebas de ajuste es necesaria para saber con exactitud si el modelo, talla, marca del equipo es apto para el usuario, que entregue un sello efectivo y que no existan fugas hacia el interior del contaminante.

La integración de estas herramientas permitió conocer la situación actual de la organización en cuanto a temas relacionados con la exposición ambiental y ocupacional de los trabajadores de la planta de cemento, adicionalmente estas herramientas permitieron realizar comparaciones entre las evaluaciones realizadas en los años 2017 y 2018 con las actuales.

2. Exposición ambiental a material particulado PM2,5 y PM10

Una vez determinada y comprendida la situación actual, se procedió con la estrategia de muestreo a nivel ambiental, la cual consistió en la evaluación de la exposición a material particulado PM2,5 y PM10 en zonas establecidas por la organización, según la estrategia de muestreo proporcionada por el corporativo de Holcim (véase apéndice 9). El desarrollo de ésta consistió en recorrer la planta, a fin de identificar aquellas zonas que presenten polvo fugitivo, para posteriormente clasificar las áreas en tres posibles escenarios:

- Escenario 1: Poco polvo. Esta clasificación es cuando al llegar a la zona de muestreo se identifican zonas con fuentes de inmisión de polvo fugitivo muy bajo, la visibilidad de la inmisión es casi nula, la acumulación en el piso, equipos, escaleras, pasamanos, barandillas y pasarelas, entre otros, es imperceptible, esto quiere decir que el riesgo de inmisión de polvo es muy bajo, por lo cual no debe realizarse ninguna medición y se debe continuar con la identificación de otras zonas.
- Escenario 2: Polvo ligero. Existencia de fuentes de polvo fugitivo, el polvo en este escenario tiene baja visibilidad, la acumulación en piso, equipos, escaleras, pasamanos, barandillas y pasarelas, entre otros, es menor de 5 cm. En este escenario no se realizan mediciones porque las acciones de control no son necesariamente inmediatas, ya que la organización necesita priorizar aquellas zonas que presenten los problemas más grandes de acumulación de polvo.
- Escenario 3: Polvo alto. En este escenario se clasifican las áreas como

zonas de cuidado o zonas críticas. Existe acumulación de polvo de manera severa en pisos, equipos, escaleras, pasamanos, barandillas y pasarelas, entre otros, por lo que se debe realizar mediciones ambientales PM_{2,5} y PM₁₀. Determinadas las zonas de cuidado o zonas críticas, se procedió a realizar los siguientes pasos:

- Se realizaron tres mediciones puntuales de 30 segundos cada una, a un metro de distancia de la fuente, con el medidor de partículas PCE-MPC, éste recolectó material particulado en los diámetros de 2,5 y 10 micras.
- Seguidamente, se localizó geográficamente la zona que se estaba muestreando mediante una aplicación desarrollada por Holcim
- Se registraron los valores obtenidos en la aplicación para observar zonas con bajo, medio y alto nivel de polvo.

Una vez finalizado este proceso en una zona específica, se repitió el ciclo de evaluación, donde se inicia con la identificación de las zonas que presentan posibles inmisiones de polvo fugitivo y se siguen los pasos mencionados anteriormente hasta que se abarcaron todas las zonas de planta de cemento de Holcim. Esta estrategia de evaluación ambiental propuesta por Holcim tenía como finalidad proponer acciones a corto y largo plazo para reducir la inmisión de polvo junto con una estimación del costo de implementación, además de relacionar los resultados obtenidos en las zonas críticas con los valores del muestreo ocupacional a sílice y MPR.

Sumado a la estrategia, se utilizó un acta de muestreo ambiental que permitió llevar un control de las mediciones. Posteriormente obtenidos los datos de las mediciones ambientales se realizó un análisis de estos mediante herramientas como Excel para la creación de gráficos y tablas, adicionalmente se compararon las mediciones realizadas en el año 2017 contra las realizadas en el 2021.

3. Exposición ocupacional a material particulado respirable y sílice cristalina

La estrategia de muestreo ocupacional como se mencionó en el apartado de operacionalización de variables estuvo fundamentada en la norma UNE-EN 689: 2019. Exposición en el lugar de trabajo. Medición de la exposición por inhalación de agentes químicos. Esta estrategia sirve para verificar la conformidad con los valores límites de exposición profesional, el fin principal fue determinar los valores de exposición a sílice cristalina y MPR a los que se encuentran expuestos los trabajadores operativos de Holcim Costa Rica. Lo que estipula esta norma es que, si inicialmente se realizaron tres mediciones por cada GES entonces, para validar el nivel de cumplimiento o incumplimiento se debe analizar los tres posibles escenarios que se muestran en la siguiente figura.

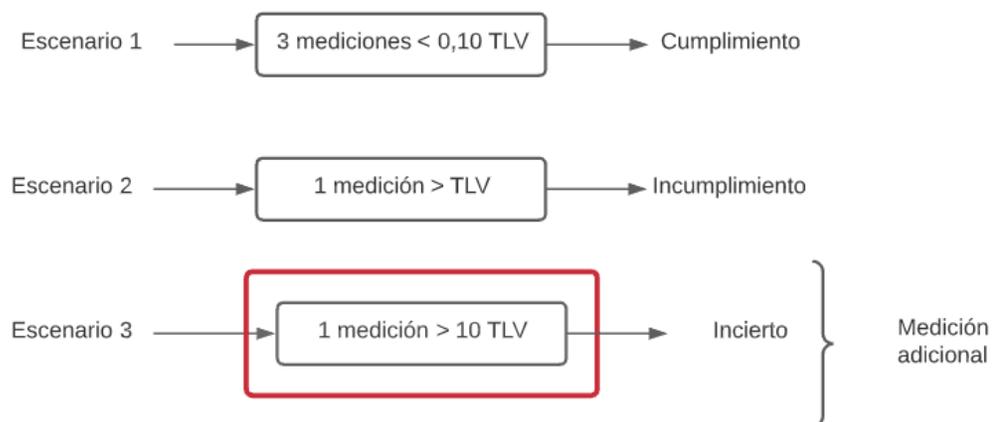


Figure 3. Evaluación de la exposición-TLV

Fuente UNE-EN 689, 2019

De igual forma que en el caso de la estrategia ambiental, ésta fue acompañada de un acta de muestreo ocupacional por cada agente químico a muestrear. En el acta de muestreo se contemplaron aspectos como nombre del trabajador, sitio o puesto, ID de la muestra y de la bomba, adicionalmente el flujo inicial y final, hora inicial de muestreo y final. Sumado al acta de muestreo se adicionó una bitácora de muestreo por agente químico donde se contemplaron aspectos como el nombre del trabajador, áreas específicas en las que se encontró el trabajador y observaciones relacionadas con

cambios en el trabajo, uso de otros equipos de protección como trajes aluminizados, entre otros.

Los muestreos ocupacionales se llevaron a cabo mediante un tren de muestreo ocupacional. A continuación, en el siguiente cuadro se observa que dispositivos de captura fueron utilizados por cada agente químico muestreado.

Cuadro 3. Dispositivos de captura utilizados para la toma de las muestras

Contaminante	Dispositivos de captura
Sílice cristalina	<ul style="list-style-type: none"> • Ciclón de nylon • Porta filtros de tres cuerpos • Soportes de celulosa • Filtros PVC de 37 mm y 5 µm de poro
Material particulado respirable	<ul style="list-style-type: none"> • Ciclón de nylon • Porta filtros de dos cuerpos • Soportes de celulosa • Filtros PVC de 37 mm y 0,8 µm de poro

Es importante mencionar que se recolectaron doce muestras de sílice cristalina y doce de material particulado. Estas veinticuatro muestras se distribuyeron en cuatro días, muestreando seis personas por día. Una vez recopiladas las muestras fueron entregadas al Laboratorio de Higiene Analítica del Instituto Tecnológico de Costa Rica (LHA) para el análisis cuantitativo de las mismas.

El laboratorio reportó los datos de concentración en unidades de masa (mg), por lo que para el análisis posterior de los datos se tuvo que calcular la concentración en mg/m³. Para realizar este cálculo se procedió a corregir el flujo por curva de calibración, seguidamente se obtiene el volumen de muestreo que resulta de la resta del flujo inicial menos el volumen final, multiplicado por la corrección de flujo, posteriormente se calcula la concentración de la siguiente manera:

$$C = \frac{M}{V}$$

Donde:

C: concentración masa en mg/m^3

M: masa reportada por el LHA en mg

V: volumen de muestreo corregido por curva de calibración en m^3

Las herramientas utilizadas para el análisis de datos fueron Excel y *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS). Como punto de partida, se obtiene la concentración en mg/m^3 , tanto para sílice como para MPR (apéndice 9 para sílice y apéndice 10 para MPR), para posteriormente realizar dos pruebas de bondad de ajuste una para cada agente, específicamente se realizó la prueba de Shapiro-Wilk, ya que la muestra era menor de 50 personas, esto con el fin de determinar el comportamiento de los datos, dando como resultados para el caso de sílice una significancia de 0,002 para sílice y 0 para MPR.

Al comparar dichos valores con 0,05 es posible concluir que los datos no se comportan de manera normal, por lo que se llevó a cabo la aplicación del logaritmo natural de los datos de las concentraciones para obtener una distribución log normal. Una vez determinada la distribución de los datos, se procedió a realizar el cálculo de la media geométrica y la desviación estándar geométrica para determinar el Límite Superior de Confianza (LSC), Límite Inferior de Confianza (LIC) y el estimador sesgado de máxima verosimilitud (MLE, por sus siglas en inglés) (apéndice 11 y 12)

4. Programa de control de polvo fugitivo controles a nivel ingenieril y administrativo

Con la información recopilada sobre la situación actual de la organización y mediante la aplicación de la estrategia de muestreo ambiental y ocupacional se obtuvo la información suficiente para llevar a cabo la propuesta de un programa de control de polvo fugitivo que contempló controles a nivel ingenieril y administrativo.

- Programa de control de polvo fugitivo

La primera herramienta utilizada para el desarrollo del cuarto objetivo específico fue la norma INTE 31-09-09:2016. Requisitos para la elaboración de programas de salud y seguridad, esta norma brinda una guía sobre los aspectos mínimos con lo que debe contar cualquier programa de seguridad y salud, por lo que se tomó en consideración lo mencionado en esta norma y se diseñó el programa con base en esta guía.

Definidos los elementos con los que debía contar el programa de control de polvo fugitivo, se llevó a cabo la creación de un diagrama de Gantt, este instrumento permitió proponer fechas de inicio y finalización del programa. Complementario a esto se utilizó una matriz RACI para la asignación de roles y responsabilidades, además en conjunto con una matriz de interesados se estableció el nivel de influencia de los involucrados en el programa con el fin de que sea un trabajo multidisciplinario se tome en cuenta a todos los integrantes de la organización.

Esta propuesta de programa estuvo conformada por dos principales pilares, los controles ingenieriles y administrativos. Ambos estuvieron sometidos a una serie de herramientas e indicadores que permitieron obtener información sobre el desarrollo de los controles Como punto de partida se midió la cantidad de requisitos con los que cumplían los controles, por lo que se estableció una matriz basada en Reglamento para la prevención de la silicosis en los centros de trabajo

Una vez definidos los controles que cumplían con los aspectos estipulados por estos reglamentos, se revisó la ubicación geográfica en la cual se deseaba implementar el control mediante los planos de la organización, con el fin de determinar si existían dentro de la planta zonas que contaran con características similares para poder verificar si era posible implementar el mismo control en distintas áreas de la planta o si se podían realizar pequeñas modificaciones al mismo control ingenieril para que se acople a las necesidades que requería.

IV. Análisis de la Situación Actual

A continuación, se describen los principales hallazgos obtenidos al realizar el análisis de las herramientas propuestas en la operacionalización de variables, para el cumplimiento de los objetivos propuestos para el diseño del programa de control de polvo fugitivo.

A. Herramientas utilizadas previo al análisis de resultados

Previo al análisis de los resultados, se utilizaron dos herramientas: una entrevista semiestructurada y una encuesta higiénica, que permitieron junto con los informes de muestreo del año 2017 y 2018 realizados por la organización, contextualizar la situación actual de la planta de cemento.

Los principales resultados obtenidos con la aplicación de la entrevista semiestructurada al médico sobre los procedimientos relacionados a vigilancia de la salud fueron:

- Actualmente, Holcim realiza exámenes pre empleo, placa de tórax, y si el colaborador va a ser contratado para los puestos críticos (trabajos en espacios confinados y en caliente) se realizan espirometrías.
- Se ejecutan evaluaciones médicas anuales para la población laboral expuesta:
 - Placa de tórax: la cual es interpretada por un especialista en Neumología, con certificación "*B reader*", el único certificado para interpretar placas en detección de silicosis en el país.
 - Espirometrías: realizada con equipo calibrado, con certificación y con interpretación por neumólogo con amplia experiencia. Si un caso presenta algún hallazgo de problemas a nivel de sistema respiratorio se revisa con el especialista en Neumología quien da la recomendación, primero se le realiza un TAC (tomografía axial computarizada) específica para pulmones y de concordar con los hallazgos iniciales, se refiere inmediatamente al INS. Es importante mencionar que desde el año 2009

no se reportan casos críticos relacionados a la exposición a MPR y sílice cristalina.

Asimismo, se puede mencionar los principales resultados derivados de la encuesta higiénica. Las tareas que se realizan en la planta de cemento son limpieza de maquinaria, equipos y zonas, mantenimientos eléctricos, mecánicos y preventivos, controles de calidad, empaquetado y almacenamiento de cemento. Para realizar estas tareas se hace uso de todo tipo de herramienta manual, eléctrica, neumática, maquinaria pesada, grúas, y montacargas. A nivel ingenieril y administrativo se han implementado una serie de controles con el fin de reducir la exposición ocupacional y ambiental a polvo fugitivo:

- En fuente se han colocado limpiadores y rodillos de retorno en las bandas transportadoras, faldones que evitan la propagación de sílice cristalina y juntas anti polvo en el alimentador, desempolvamientos, filtros, ventiladores, extractores localizados, y se cuenta con una sala de control para toda la planta de cemento.
- Se les brinda protección respiratoria a todos los colaboradores. El equipo de protección personal que se usa de manera obligatoria en Holcim son el casco, guantes, lentes, protección auditiva y respiratoria, este último es de suma importancia, ya que la principal vía de ingreso de los agentes químicos en el organismo es por la respiratoria. En Holcim la protección respiratoria consiste en respiradores con filtros 2097 de la marca 3M aprobados para protección respiratoria contra polvos (incluyendo carbón, algodón, aluminio, trigo, hierro y sílice libre, producidos principalmente por la desintegración de sólidos durante procesos industriales tales como: esmerilado, lijado, trituración y procesamiento de minerales y otros materiales). Para el cambio de los filtros, se debe considerar: cuando se percibe el olor o un leve sabor del contaminante presente, cuando se dificulta la respiración normal y es necesario efectuar un esfuerzo adicional.

- Se cuenta con un programa de protección respiratoria, que menciona cual es el equipo de protección personal respiratoria que se requiere, así como las pruebas de ajuste de los mismos, estas pruebas no se realizan desde el año 2018 por temas de pandemia.
- Existen planes de mantenimiento de equipos y áreas.
- Existen planes de limpiezas por zonas. Se realizan limpiezas a toda la planta mediante una barredora industrial. En caso de ingresar a zonas polvosas como el túnel de clínker, molino tres, los trabajadores se limpian a ellos mismos con aire comprimido.
- Sistemas de aspersión de agua en equipos que producen grandes cantidades de polvo.
- A nivel de salud: se cuenta con consultorio médico, se realizan espirometrías, radiografías de tórax y otros controles médicos importantes.

B. Evaluación a nivel ambiental

Para el análisis de la situación actual acerca de las condiciones de la planta de cemento con respecto a las inmisiones de polvo fugitivo, se realiza una comparación entre el informe de evaluación ambiental realizado en el año 2017 y los valores obtenidos en la estrategia de muestreo ambiental del año 2021.

En el 2017 se muestreo a toda la planta de cemento, con el propósito de obtener un panorama más amplio con respecto a la exposición ambiental de material particulado. En el siguiente cuadro se observa la cantidad de puntos que fueron seleccionados por área, asimismo se observa cuántos de esos puntos estuvieron por encima del límite (mayor a 3 mg/m^3), en el límite de acción ($1,5 \text{ mg/m}^3$) y por debajo del límite.

Cuadro 4. Distribución de puntos muestreados, por encima del límite, en el límite de acción y por debajo del límite

Área	Total de puntos	Encima del límite	Límite de acción	Debajo del límite
Molino de crudo	54	0	9	45
Horomill Ed 1	53	0	0	53
Horomill Ed 2	21	0	3	18
Molino de coke	51	0	3	48
Quebrador primario	16	13	0	3
Silo de clínker	6	2	4	0
Reclamador	7	0	0	7
BESTA	12	0	0	12
CEPAL	42	0	9	33
Pasillo de horno	10	0	0	10
Despacho interno	19	0	0	19
Granel sur	24	2	6	16
Despacho interno	29	0	0	29
Silo 10	15	0	4	11
Torre	87	0	2	85
Molino de puzolana	35	3	32	0
Molino 3	44	1	20	23
Piso de peatones	79	0	0	79

A partir del cuadro 4, se puede estimar cuales son las áreas que en año 2017 fueron zonas críticas de exposición para la organización porque obtuvieron la mayoría de sus puntos muestreados por encima del TLV. Los valores de exposición más altos fueron obtenidos por las zonas del quebrador primario, silo de clínker, granel sur,

molino de puzolana y molino tres, esto representa 28 % del total de las mediciones realizadas. En el caso de Holcim para asegurar las condiciones ambientales y la reducción de inmisiones de polvo fugitivo en la planta, el límite de exposición permisible que se toma en consideración es el límite de acción, lo que correspondió a un 39 % de las mediciones totales. Para el año 2021 las zonas que se muestrearon fueron las que tuvieron puntos por encima del límite de acción y otras zonas seleccionadas por conveniencia para la organización.

Ahora bien, para la estrategia de muestreo ambiental del año 2021, tomando en consideración las zonas elegidas por la organización, se realizaron mediciones en dos diámetros de partícula 2,5 y 10 micrómetros, en el apéndice 14 se puede observar los valores obtenidos para este muestreo. Para el análisis de los datos se realizó el promedio aritmético de las tres mediciones realizadas en cada zona, en el siguiente cuadro se representan estos valores.

Cuadro 5. Valores de PM2,5 y PM10 promediados por cada zona de muestreo

Zona	Promedio por zona 2,5 mg/m ³	Promedio por zona 10 mg/m ³
Molino de Crudo	0,0753	0,0044
Molino de Coke	0,0373	0,0023
Elevador de harina	0,0280	0,0017
Elevador 390 EC2	0,0897	0,0053
Horomill	0,0588	0,0035
Quebrador	1,6951	0,0950
Zona de cemento (molino tres)	2,5968	0,1774
CEPAL	2,1509	0,1103
Despacho interno	0,1367	0,0077
Nota: el color rojo representa aquellos valores que obtuvieron la concentración más alta de material particulado en los diámetros de 2,5 y 10 micrómetros.		

Las PM2,5 son las partículas más peligrosas en comparación con las PM10, debido a que pueden ingresar a las zonas más internas del sistema respiratorio, como los pulmones, depositándose en los alvéolos. Como se puede observar en el cuadro anterior las partículas que fueron detectadas en mayor cantidad por el equipo fueron

las PM_{2,5}, ya que el equipo utilizado para el muestreo tenía como finalidad ser un contador de partículas en el aire y al realizarse las mediciones en fuentes puntuales, los valores de PM_{2,5} fueron los que se presentaron en mayor cantidad porque quedan suspendidas más tiempo en el aire en relación con las PM₁₀.

Las zonas que presentaron mayor concentración de PM_{2,5} y superaron el límite de acción (1,5 mg/m³) son los mostrados en color rojo en el cuadro 6, los cuales corresponde al quebrador primario, zona de cemento (es importante mencionar que en esta zona se encuentra el túnel de clínker, este es una de las zonas más problemáticas de la planta, ya que es un área cerrada que cuenta con una banda transportadora que conduce el clínker, el cual es un material sumamente polvoso y fino, otra de las zonas que presento altos niveles de PM_{2,5}, fue el área de CEPAL. Si se analizan los resultados obtenidos en el caso de las PM₁₀, éstas fueron similares a lo largo de todo el muestreo, mostrando algunos picos significativos como el caso del área del quebrador primario, zona de cemento y CEPAL.

Realizando comparaciones entre los valores obtenidos en el muestreo del 2017 y el 2021, el quebrador primario sigue siendo una zona de preocupación, ya que continúa presentando valores de exposición a material particulado altos, es importante mencionar que este equipo por la función que realiza, cuenta con un filtro HAC 211 FT1 que posee una capacidad del ventilador de 50.000 m³/h, este es lo suficientemente grande para mantener las condiciones dentro del quebrador con la menor cantidad de material particulado en el ambiente. Zonas como CEPAL y el molino tres a pesar de que en el año 2017 sus puntos de medición estaban en el límite de acción, para este muestreo aumentaron los valores de PM_{2,5} y PM₁₀ presentes en su ambiente.

Continuando con la comparación, en el año 2017 el molino del Horomill fue una de las zonas que no presentó valores por encima del límite de exposición, al eliminar el molino de puzolana, la organización decide conectar las líneas de producción de puzolana al molino del Horomill, afectando sus condiciones ambientales, porque para el muestreo del 2021 fue una de las zonas con valores de material particulado alto.

Adicionalmente, otra de las zonas que se vio afectada por el cierre del molino de puzolana, fue el quebrador primario, ya que este debe quebrar en diámetros más pequeños la puzolana para que sea inyectada al Horomill, generando una cantidad abundante de polvo fugitivo en el ambiente. De manera general, en la siguiente figura se presenta el plano de la planta de cemento de Holcim Costa Rica, los colores rojos en el plano representan las tres zonas críticas (zonas con la exposición más alta) señalizadas en el cuadro 5.

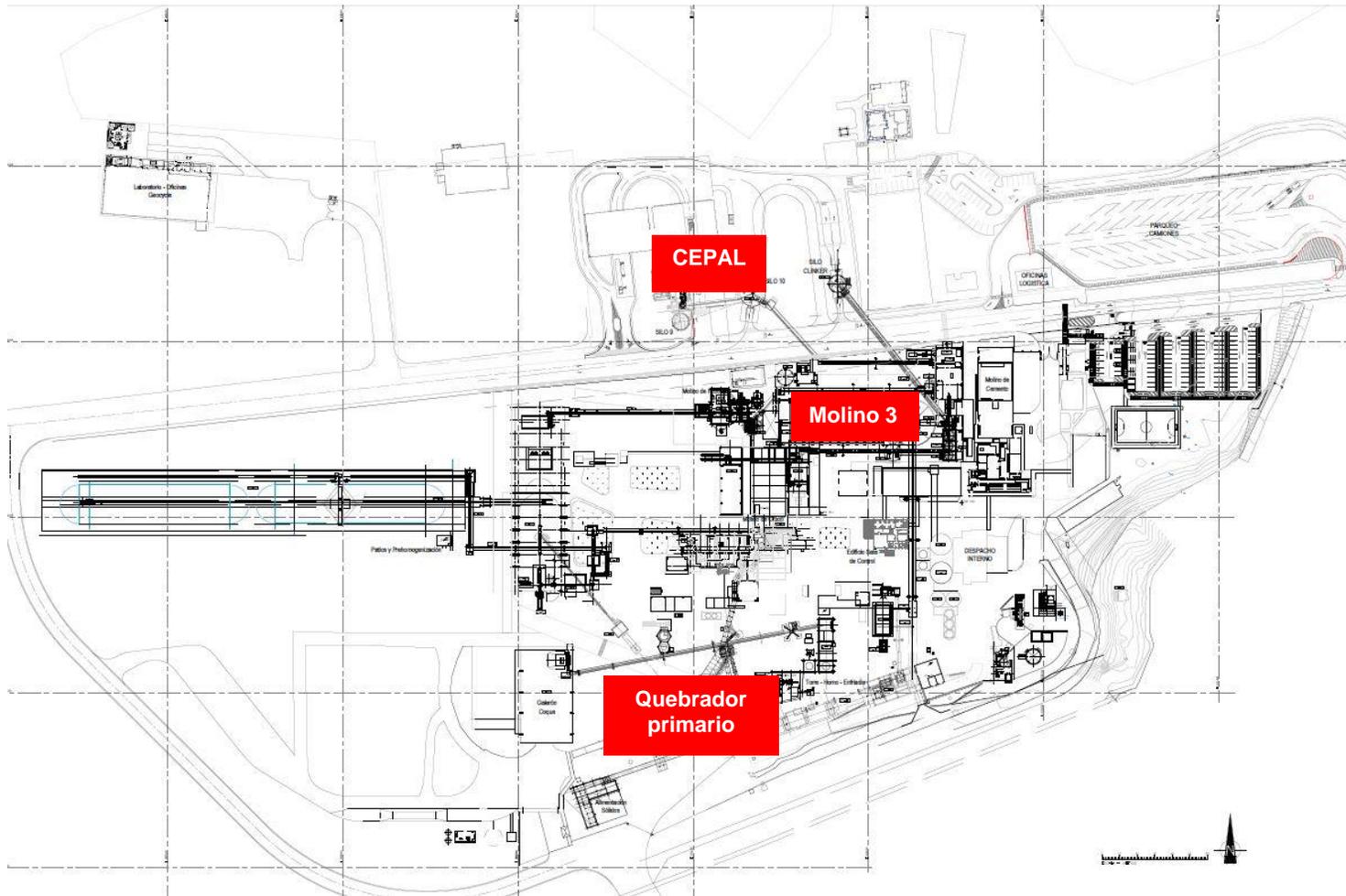


Figure 4. Plano de distribución Holcim Costa Rica
 Fuente: Holcim Costa Rica, 2021

Como se observa en la figura a anterior, las tres zonas con los valores de exposición a material particulado más altos se encuentran distribuidas a lo largo de la planta por lo que la producción de polvo fugitivo en estas zonas, afectara directamente toda la organización, porque como se mencionó en el marco teórico de este proyecto, las partículas de polvo fugitivo tienen la capacidad de aerotransportarse largas distancias.

C. Evaluación ocupacional a sílice cristalina y material particulado respirable

Una vez recopilada la información brindada por la entrevista al médico de empresa, la encuesta higiénica, el informe de evaluación ambiental del año 2017 y los resultados de la evaluación ambiental del año 2021, se procede a analizar los informes de evaluación a sílice cristalina y MPR año 2018 y los resultados obtenidos en la estrategia de muestro del año 2018 a sílice cristalina y MPR.

1. Evaluación ocupacional a sílice cristalina

En el anexo 1 se puede observar los resultados obtenidos de exposición a sílice cristalina en el año 2018. Al analizar cada uno de estos valores y considerando el valor del límite de exposición para sílice ($0,025 \text{ mg/m}^3$) y el límite de acción ($0,0125 \text{ mg/m}^3$), es posible determinar que de los 44 trabajadores muestreados 13 se encontraban sobreexpuestos esto equivale al 30 % de las mediciones, 12 en el límite de acción lo cual corresponde a 27 % y 19 colaboradores por debajo del límite lo que representa un 43 % de las muestras totales.

En la siguiente figura se muestran a los 13 trabajadores de la estrategia de muestreo a sílice cristalina del año 2018 que obtuvieron los valores de concentración a sílice por encima del límite de exposición.

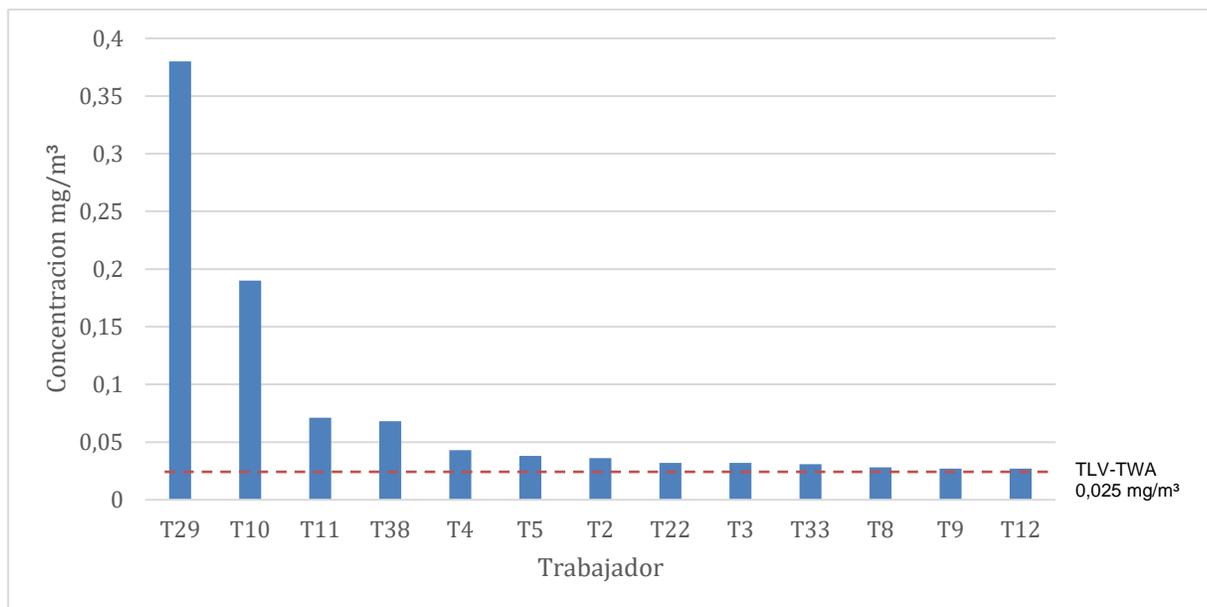


Figure 5 Niveles de concentración de los 13 trabajadores que superaron el límite de exposición a sílice cristalina

Analizando los valores más altos de la figura anterior el colaborador con la concentración de $0,38 \text{ mg/m}^3$ fue el que obtuvo el valor más alto como se observa en la figura anterior. Según el cuadro del anexo 1 este tenía puesto de técnico de proceso, por las funciones que desarrollaba se encontraba en varias zonas de la planta, principalmente se localizó en despacho Interno, donde se mantuvo llenando camiones a granel, para realizar esta tarea el colaborador debe subir a la parte superior del camión con su EPP colocar una manga que permite el paso del cemento o clínker en el camión granelero, este trasiego de material no es completamente hermético, por lo que se produce mucha inmisión de polvo fugitivo, razón por lo que este colaborador fue el que presentó un alto valor de concentración.

En el caso de T10 presento un valor de $0,19 \text{ mg/m}^3$, este se encontraba por la zona del molino de crudo específicamente en área de marranas, estas marranas la función que tienen es transportar crudo, el cual es un material polvoso. Con respecto al trabajador T11 con un valor de concentración de $0,071 \text{ mg/m}^3$ se encontró en el túnel de clínker zona que pertenece al molino tres y es una banda transportadora de material polvoso y fino. El colaborador T38 $0,068 \text{ mg/m}^3$ pertenecía al área de CEPAL zona

que en los muestreos ambientales se evidenció presenta una alta concentración de material particulado. Otro caso que presentó un alto valor fue el del colaborador T4 el cual obtuvo un dato de 0,043 mg/m³ este colaborador se encontraba en la zona del quebrador primario, zona donde la exposición es sumamente alta, según los datos arrojados en las evaluaciones ambientales de los años 2017 y 2021.

En el caso del trabajador T5 obtuvo un valor de 0,036 mg/m³, es posible que esta alta exposición se debiera a que se encontraba desempeñando labores en el área de yeso, puzolana y en el Túnel de clínker. Estas zonas son algunos de los lugares más críticos de la planta porque son los que presentan la mayor cantidad de sílice según la información brindada por la Higienista a cargo de la planta de cemento.

Una vez interpretada la situación actual de la organización en cuanto a exposición a sílice cristalina, se procedió a aplicar a la estrategia de muestreo ocupacional a sílice. En el siguiente cuadro se puede observar los valores obtenidos por cada colaborador muestreado.

Cuadro 6. Concentraciones de sílice cristalina por cada colaborador muestreado

ID de muestra	GES	Concentración (mg/m ³)	LIC (mg/m ³)	MLE (mg/m ³)	LSC (mg/m ³)
L-45	Producción	0,01365	0,0029	0,4755	0,8480
L-35		0,00988			
L-167		0,05510			
L-29	CEPAL	0,06943			
L-110		0,05208			
L-42		0,18801			
L-290	Mantenimiento mecánico	0,04756			
L-54		0,01401			
L-266		0,04648			
L-195	Mantenimiento	0,03188			

L114	preventivo/eléctrico	0,00707			
L-62		0,04488			
Nota: El color rojo en el cuadro representa sobreexposición, el amarillo datos en el límite de acción y verde valores por debajo del límite de exposición					

Tomando en consideración el intervalo de confianza, es posible notar que el valor del TLV-TWA para sílice cristalina se encuentra dentro de éste, por lo que se llega a una zona de indecisión, que lo que permite concluir es que no se puede mencionar de manera general que todos los trabajadores de la planta de cemento se encuentran o no sobreexpuestos a sílice.

Una de las razones que pueden mencionarse por las cuales este valor queda dentro del intervalo es porque existe variabilidad entre los valores de las concentraciones, se obtuvieron valores muy altos de concentración como en el caso del valor 0,1880 mg/m³, y valores muy bajos como por ejemplo 0,00707 mg/m³, por lo que la distribución de los datos fue muy dispersa, esto se debe a la diversidad de tareas, funciones y áreas que se encuentran dentro de la planta de cemento.

Debido a que con el intervalo de confianza no se puede concluir sobre la exposición de los colaboradores se toma en consideración los tres escenarios de la UNE-EN 689:2019. Al realizar esta comparación puede observarse que en cada uno de los cuatros GES existe al menos un valor por encima del TLV como puede observarse en el cuadro 7, por lo que se puede concluir que los trabajadores de la organización se encuentran sobreexpuestos a sílice cristalina, esto sin considerar la protección que les brinda el EPR utilizado actualmente en la organización.

Es importante realizar el análisis de las concentraciones de manera individual por cada colaborador. En el cuadro 6 puede observarse que de los 12 trabajadores muestreados ocho que corresponden al 66 % de las mediciones se encontraron sobreexpuestos (color rojo en el cuadro 6), ya que su valor de concentración superó el valor de TLV-TWA, dos que corresponden al 17 % de las concentraciones de estos colaboradores estaban en el límite de acción (color amarillo en el cuadro 6) y el otro 17 % por debajo del límite de exposición (color verde en el cuadro 6).

Continuando con el análisis individual de cada colaborador, es importante hablar de los valores por encima del límite de exposición. En el caso del trabajador L42 (0,18801 mg/m³) que presentó el valor más alto, pertenece al área de CEPAL, que como se ha explicado en párrafos anteriores es un área problemática, además este colaborador se encontraba realizando tareas en la ensacadora, la cual es una máquina que se encarga del llenado de los sacos de cemento y genera altas inmisiones de polvo fugitivo. Con respecto a los colaboradores L29 y L110 se encontraban realizando tareas rutinarias de mantenimiento y limpieza en el área de CEPAL.

L167 se encontró realizando tareas de limpieza en las zonas con mayor concentración de material particulado según las estrategias ambientales del 2017 y 2021, el túnel de clínker y molino tres, es importante mencionar que este colaborador se encontraba en las tolvas de puzolana y yeso retirando el material que se queda atascado en las tolvas. L290 realizó de igual manera labores de limpieza y mantenimiento en el área 331 R3. L266 colaborador que se encontraba en el molino de Horomill, el cual una de las zonas que resulto con valores de concentración de material particulado alto según la estrategia ambiental 2021. L195 y L62 realizaban mantenimientos en varias áreas de la planta molino tres, silos, tolvas.

Analizando de manera en conjunta los cuatro GES seleccionados para esta evaluación ocupacional a sílice, se decide realizar un gráfico de cajas que representa la forma en que se comportan los datos por grupos de exposición similar.

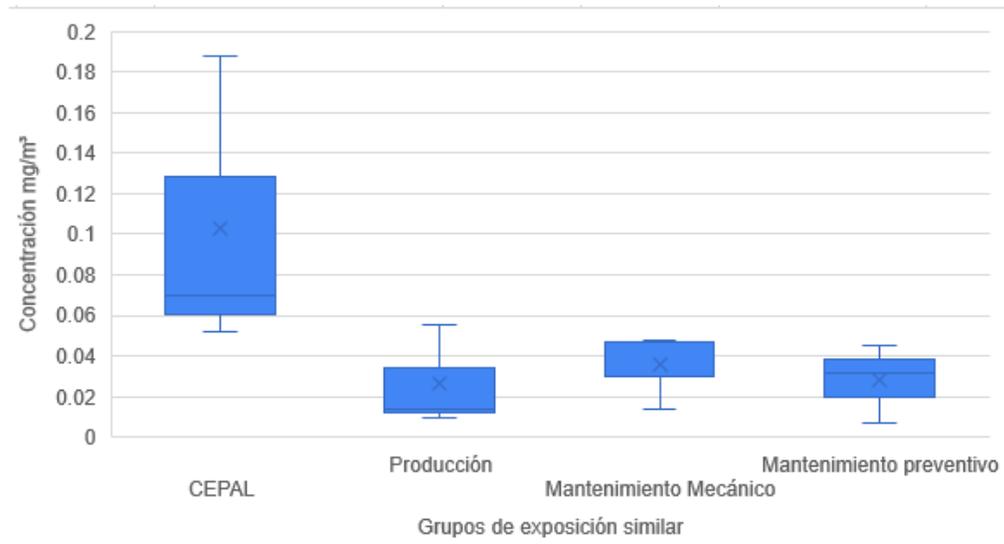


Figure 6. Valores de concentración obtenidos por cada GES en la evaluación de sílice cristalina

En la figura anterior, se puede observar la distribución de los valores obtenidos por cada GES. Es posible notar que el valor más alto es el GES de CEPAL. Algunas de las razones por las que CEPAL una zona crítica, como pudo confirmarse en las estrategias de muestreo ambientales realizadas en los años 2017 y 2021, es porque en esta zona se realiza el empacado y la limpieza de los sacos de cemento, el llenado a granel de los camiones, la limpieza del área mediante escobas, además se realiza la recolección del material en caso de ruptura de los sacos de cemento al momento de ser transportados por el montacargas.

Con respecto a los otros tres GES, se puede observar en la figura anterior que las concentraciones fueron similares, esto se debe a que los trabajadores que conforman estos grupos realizaron labores en las mismas zonas, tales como las áreas de molinos, tolvas, silos, torre de pre-calcinación y Horomill; además, que las tareas realizadas de igual forma estuvieron centralizadas en inspecciones diarias y limpiezas como puede observarse en el cuadro que se encuentra en el apéndice 15.

Ahora bien, para poder concluir acerca de la exposición real de los trabajadores a sílice cristalina se debe considerar el EPR utilizado en la planta de cemento. Considerando las especificaciones técnicas del respirador. El utilizado en la planta de

cuenta con un factor de protección de 10 %, según la OSHA 29 CFR 1910.134. Una vez seleccionado el factor de protección del equipo de protección respiratoria y saber la protección que este brinda según la concentración a la que se encuentran expuestos los trabajadores, se debe tomar en cuenta la siguiente fórmula:

$$Fp = 10 \% \times TLV$$

Donde:

Fp: factor de protección que corresponde a un 10 %

TLV: para el caso de sílice es de 0,025 mg/m³

En la siguiente figura se muestra cómo se comportan los datos de concentración obtenidos por cada trabajador expuesto a sílice cristalina con respecto al valor del TLV-TWA multiplicado por el factor de protección.

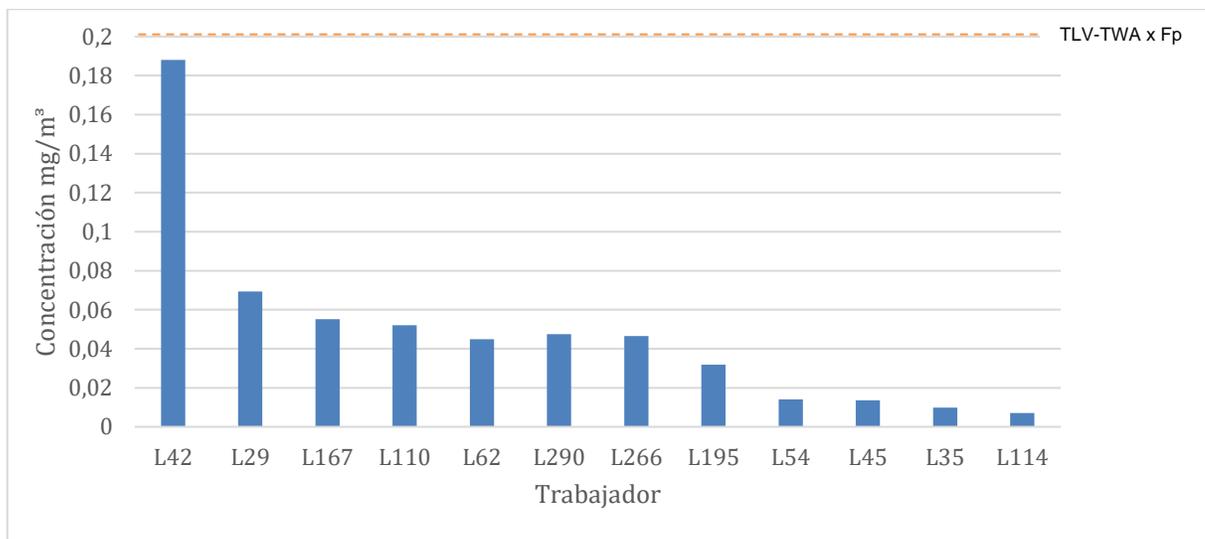


Figure 7. Valores de concentración a sílice cristalina con respecto al TLV-TWA aplicándole el factor de protección

Una vez determinado el valor del TLV por el factor de protección, se obtiene un valor límite de 0,25 mg/m³, por lo que, al realizar la comparación de todos los valores de concentración a sílice cristalina con este dato, es por posible notar como se muestra en la figura anterior que todos los trabajadores se encuentran por debajo del límite de exposición. Es importante recalcar que la efectividad del factor de protección va a depender de las pruebas de ajuste que se les realicen a los colaboradores, actualmente la organización no ha realizado las pruebas desde el año 2018 por temas

de pandemia, por lo que no se puede asegurar que los trabajadores se encuentren protegidos. la correcta capacitación sobre el uso del equipo de protección respiratoria, la correcta colocación del EPR, como se almacena, como se limpia, cada cuanto se debe realizar el cambio de los filtros y que cuidados se deben tener con este equipo.

2. Evaluación ocupacional a material particulado respirable

En el anexo 2 se muestran los valores obtenidos en el muestreo del año 2018 de las exposiciones de MPR. Se puede observar que, de los 42 trabajadores muestreados, uno superó el límite de exposición ocupacional (3 mg/m^3) y dos sobrepasaron el límite de acción ($1,5 \text{ mg/m}^3$). Para el análisis de los datos de esta estrategia de muestreo se decide recopilar la información de los valores mencionados anteriormente y aquellos que, a pesar de no superar el límite de exposición ni el límite de acción, obtuvieron altas concentraciones en comparación con los demás datos del muestreo. En el siguiente cuadro se puede observar los cinco valores seleccionados para realizar el análisis de la información.

Cuadro 7. Trabajadores que presentaron los valores de concentración más altos del muestreo del 2018.

Trabajador	Concentración (mg/m^3)
T30	1
T32	1,1
T39	2
T40	3,7
T42	2,4

Nota: Color rojo: supero el límite de exposición, color amarillo en el límite de acción y color verde: por debajo del límite de exposición

Como se puede evidenciar en el cuadro anterior, de los cinco trabajadores con valores más altos sólo uno superó el valor límite de 3 mg/m^3 , la principal razón por la que este trabajador de mantenimiento mecánico presentó el valor más alto de exposición es porque se ubicaba haciendo trabajos en zonas de alta presencia de material particulado como el molino de puzolana y en el quebrador.

Con respecto a los demás colaboradores, en el caso del que presentó un valor de 2,4 mg/m³ su ubicación fue en el molino de puzolana en los filtros realizando labores de limpieza, el que obtuvo un valor de 2 mg/m³ y que es parte de mantenimiento mecánico estuvo en K92 BZ2 (zona de puzolana) cambiando lona del aerodeslizador y sacando calzas del marco de presión. Con respecto al que obtuvo un valor de 1,1 mg/m³ y de igual forma es parte del equipo de mantenimiento mecánico se encontraba soldando en la Tolva que alimenta el Molino Puzolana. Es posible notar que el factor en común en todos los trabajadores que tuvieron los valores más altos fue la ubicación geográfica, la cual correspondió al molino de puzolana y sus alrededores.

Ahora bien, en el caso de los resultados obtenidos del muestreo realizado en el 2021. En el siguiente cuadro se puede observar los valores de concentración de MPR para cada muestra.

Cuadro 8. Concentraciones de MPR por cada colaborador muestreado

ID de muestra	GES	Concentración (mg/m ³)	LIC (mg/m ³)	MLE (mg/m ³)	LSC (mg/m ³)
L63	Producción	0,187	0,1569	0,2060	0,2131
L115		0,200			
L215		0,217			
L75	CEPAL	0,211			
L83		0,176			
L159		0,208			
L67	Mantenimiento mecánico	0,2326			
L78		0,2174			
L96		0,2268			
L98	Mantenimiento eléctrico/preventivo	0,1905			
L104		0,1739			
L279		0,1852			

Nota: El color verde en el cuadro representa que los valores de concentración se encuentran por debajo del límite exposición y acción.

De acuerdo con los datos observados en el cuadro 9 es posible concluir que todos los datos de concentración se hallaron por debajo del límite de exposición para material particulado respirable (3 mg/m^3). A diferencia de la sílice cristalina, estos datos muestreados no presentan valores muy variables, por lo que el valor del TLV se encuentra por encima del intervalo de confianza, lo que permite concluir de general es que ninguno de los trabajadores estuvo sobreexposto a MPR,

Para continuar con el análisis de los resultados obtenidos para MPR. De igual forma que para sílice, se analizaron los tres escenarios propuestos por la UNE-EN 689:2019 para concluir con respecto al cumplimiento o incumplimiento de una evaluación. Al comparar los tres escenarios, se identificó que todas las mediciones estuvieron por debajo del 10 % del TLV, por lo tanto, se puede concluir que las concentraciones están en cumplimiento.

A pesar de que estas concentraciones estaban por debajo del límite de exposición, en la siguiente figura se observa un gráfico de cajas donde se puede evidenciar el comportamiento de los 4 GES.

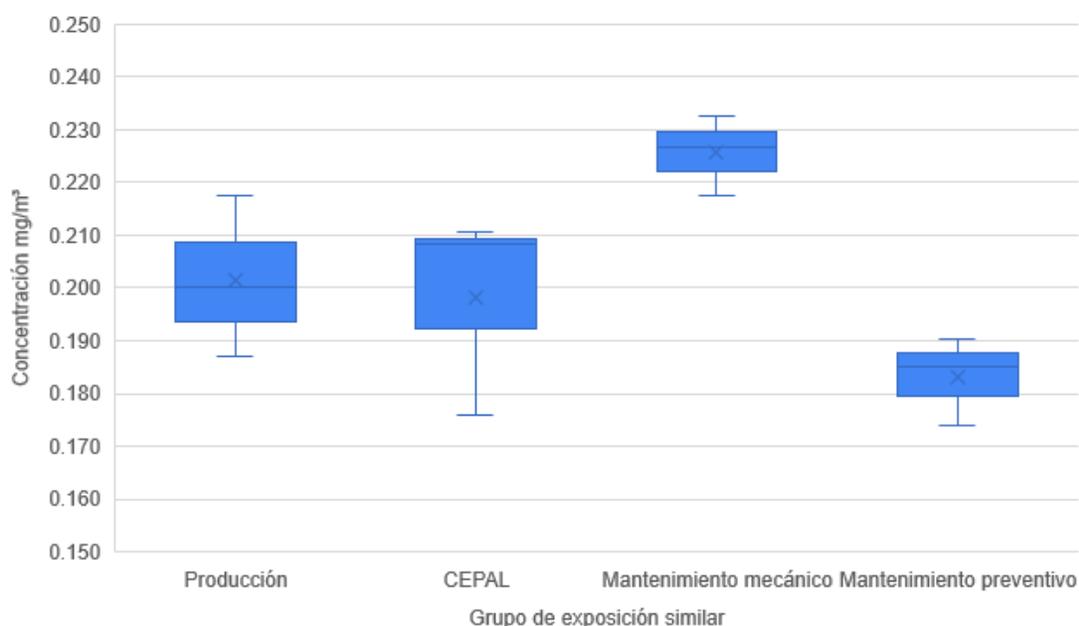


Figure 8. Valores de concentración obtenidos por cada GES en la evaluación de MPR

En caso de MPR el GES que presentó los valores más altos de concentración fue el de mantenimiento mecánico, esto es debido a que los trabajadores que conformaron este grupo se encontraban en Horomill, molino tres y el quebrador primario, zonas que como ya se ha mencionado anteriormente presentan altas concentraciones de material particulado. Con respecto a los otros tres GES, estos se comportaban de manera similar ya que realizaron tareas y funciones en áreas similares (véase apéndice 15)

Es importante mencionar que para el caso de MPR no se realizó la comparación del factor de protección del equipo de protección respiratoria (EPR), dado que por estar los valores de las concentraciones por debajo del TLV-TWA, la protección que brinda el EPR sumado con el correcto ajuste de éste reduciría aún más la exposición al agente químico en estudio.

Ahora bien, de manera general se puede mencionar que con los resultados obtenidos en el análisis de la situación actual se logró determinar que existen tres principales zonas (quebrador primario, CEPAL y molino 3) que presentan altos niveles de exposición a polvo fugitivo. Al entrelazar los valores obtenidos en el muestreo ambiental y ocupacional, es posible notar que aquellos colaboradores que realizaron trabajos en estas zonas con valores de exposición ambiental más altos mencionadas anteriormente, fueron quienes presentaron los valores de exposición a sílice cristalina y MPR más altos.

Además, es importante mencionar que, a partir del análisis de las herramientas utilizadas para el análisis de la información, se justifica la necesidad a nivel ambiental y ocupacional de implementar un programa de control de polvo fugitivo que contemple controles a nivel ingenieril y administrativo, debido a que el polvo fugitivo es un problema actual que enfrenta la organización por el proceso productivo que esta realiza, además una de las principales dificultades que presenta este tipo de polvo es que no proviene de fuentes puntuales, sino por el contrario de fuentes dispersa, por lo que proponer el programa de control de polvo fugitivo implicaría atacar las inmisiones de polvo desde la fuente, buscando con esto la reducción de este agente en el ambiente y por consiguiente disminuyendo la exposición la laboral de los colaboradores.

V. Conclusiones

- Al realizar la comparación entre los datos obtenidos por la organización en el muestreo ambiental del año 2017 y el llevado a cabo en este proyecto, se logra concluir que zonas como el molino tres, específicamente el túnel de clínker, el quebrador primario y CEPAL continúan presentando valores altos de concentración de material particulado, lo que a su vez se ve directamente relacionado con la exposición ocupacional de los colaboradores.
- En el año 2018 la organización decidió cerrar las operaciones del molino de puzolana, inyectando directamente este material al molino de Horomill, trasladando el riesgo de un molino a otro, afectando las condiciones de exposición de material particulado según en el muestreo ambiental del año 2021.
- En el caso de áreas como CEPAL, esta zona presentó los valores de concentración más altos tanto en la evaluación ambiental como ocupacional.
- El quebrador primario, presentó altos valores de concentración, es importante mencionar que en esta área la presencia de polvo fugitivo es abundante, como pudo evidenciarse en el muestreo ambiental, esto es por las actividades que realiza este equipo.
- En el caso del molino tres, al realizar las mediciones y recorridos en esta zona fue posible notar una fuga en la parte posterior del molino, así como desbordamiento del material de pisos superiores por la acumulación de éste en los alrededores de las bandas transportadoras, que ha conllevado a daño de estructuras como escaleras, columnas, techos y pisos.

El ventilador de filtro con HAC K91-VT1 ubicado en la zona del molino tres, se encuentra completamente cubierto de material que se ha acumulado. Esto puede generar que se dañen las partes mecánicas y eléctricas del mismo, trayendo como consecuencia que no haya un sistema de extracción que permita mantener las condiciones del lugar con baja concentración de polvo fugitivo.

- Actualmente, se cuenta con controles ingenieriles y administrativos para la reducción de polvo fugitivo en ciertas zonas de la planta, pero no en la totalidad de la misma.
- El departamento de H&S cuenta con todo un programa de protección respiratoria, según los resultados obtenidos el factor de protección con el que cuenta el EPR utilizado es suficiente para proteger a la población expuesta, pero existen otros factores que deben considerarse para que la efectividad del factor de protección sea eficiente, ya que el mal uso, manejo, manipulación, almacenamiento del EPR reduce la protección del equipo haciendo que aunque se cuente con este y el programa de protección respiratoria no se esté protegiendo a los colaboradores de la exposición a sílice cristalina y material particulado respirable.
- Se cuenta con programas de limpiezas por parte del área de producción, pero en el caso del molino tres, el quebrador primario y CEPAL se requiere de intervenciones a nivel ingenieril para reducir el tiempo y costo de limpiezas con diseños de ingeniería que permitan controlar las inmisiones desde la fuente.

VI. Recomendaciones

- Se recomienda intervenir de manera pronta el área de CEPAL, molino tres y el quebrador primario mediante controles de ingeniería y administrativos que permitan la reducción de las inmisiones de polvo fugitivo
- Se recomienda verificar estructuralmente las condiciones actuales del molino Horomill, para determinar si éste cuenta con los controles ingenieriles que ha implementado la empresa, en correcto funcionamiento.
- Se debe seguir realizando anualmente mediciones ocupacionales relacionadas con la exposición a sílice cristalina y MPR, para mapear cuáles son las condiciones de exposición de las personas que realizan tareas en planta, para analizar qué otros controles se deben añadir y reforzar con el fin de proteger la salud del colaborador.
- En el caso del área de CEPAL, se recomienda que se intervenga lo antes posible, ya que a nivel ambiental y ocupacional es la zona con mayor problemática. Es importante tomar en cuenta cómo se realiza la limpieza de la zona una vez reventados los sacos de cemento, así como las condiciones de la máquina ensacadora y la limpieza de los sacos.
- Se recomienda, la reparación del filtro ubicado en el quebrador primario, ya que éste se requiere para mejorar las condiciones de exposición a polvo del ambiente de esta zona.
- La zona del molino tres, se encuentra en condiciones desfavorables para aquellas personas que tengan que realizar trabajos en esta área, por lo que se recomienda que se realice un levantamiento de fugas de material en toda esta zona, así como una intervención relacionada a recuperación estructural y creación de planes de limpieza para esta zona.
- Para que el EPR cuente con un factor de protección del 10 % se debe formar al personal en cuanto a temas relacionados con el uso, ajuste, limpieza, almacenamiento, cambio de filtros e importancia del equipo de protección respiratoria.

- Se recomienda que sumado a todos los controles ingenieriles y administrativos incorporados por la organización se considere la implementación de un programa de control de polvo fugitivo para la protección de los trabajadores expuestos sílice cristalina y MPR en la planta de cemento, principalmente para reducir la exposición de este agente en aquellas áreas críticas en Holcim.

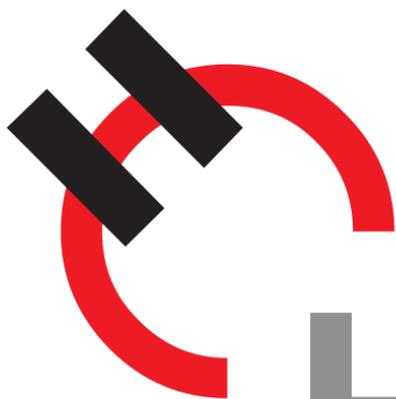
VII. Alternativa de Solución

En el proceso de fabricación de cemento es inevitable la generación de polvo proveniente de cada una de las fases del proceso productivo. La alternativa de solución planteada para este proyecto tiene como finalidad proponer un programa de control de polvo fugitivo en las instalaciones de Holcim Costa Rica, con el objetivo de reducir las inmisiones de polvo fugitivo en la planta cementera. La alternativa de solución está basada en la jerarquía de control de riesgos propuesta por OHSAS 18001 y las estrategias de muestreo ambiental de material particulado y ocupacional de sílice cristalina y material particulado respirable (MPR), llevadas a cabo en el apartado de análisis de la situación actual.

Con ayuda de los resultados obtenidos en la estrategia ambiental de PM_{2,5} y PM₁₀ se identificaron cuáles son las zonas que presentan mayores valores de concentración de material particulado, que fueron posteriormente enlazadas con los valores obtenidos en la estrategia de muestreo ocupacional a sílice y MPR para concluir como la presencia de trabajadores en estas zonas aumenta la exposición ocupacional de estos.

Este programa fue diseñado según lo establecido por la INTE 31-08-04:2016 Concentraciones ambientales máximas permisibles en los centros de trabajo, para cumplir con los valores límites de exposición ocupacional a los que pueden encontrarse expuestos los trabajadores, el Reglamento para la prevención de la silicosis en los centros de trabajo y la INTE 31-09-09:2016 Requisitos para la elaboración de programas de salud y seguridad en el trabajo.

Es importante mencionar que actualmente, Holcim cuenta con planes anuales creados por los departamentos de mantenimiento y producción acerca del control de limpiezas, mantenimientos de maquinarias y equipos, por lo que este programa servirá como adicional a estos planes de intervención de la planta, además la organización cuenta con un programa de protección respiratoria actualizado por lo que temas relacionados con vigilancia médica no son tomados en cuenta a profundidad en este programa.



Holcim

***Programa de control de polvo fugitivo en las instalaciones
de Holcim Costa Rica para la protección de los
trabajadores expuestos a sílice cristalina y material
particulado respirable***

Elaborado por: Karina Román Solano

2021

En la siguiente figura se representa de manera gráfica los principales componentes que conforman el programa de control de polvo fugitivo.

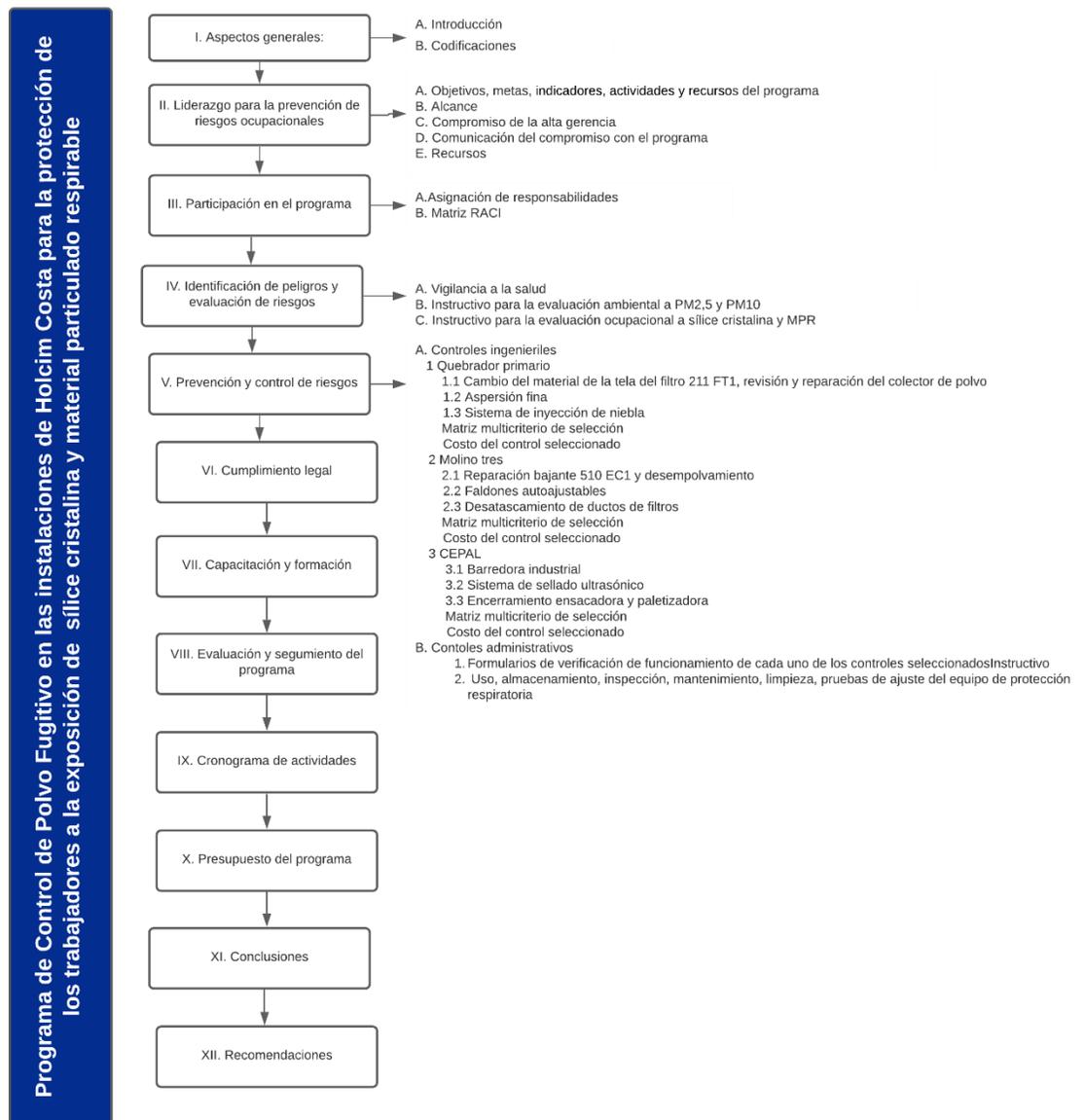


Figura 1. Estructura programa de control de polvo fugitivo en Holcim Costa Rica

I. Aspectos generales del programa

A. Introducción

El presente programa está dirigido a los trabajadores de la empresa Holcim Costa Rica, los cuales se encuentran expuestos a polvo fugitivo. En la etapa del análisis de la situación actual se identificó la presencia de polvo fugitivo a nivel ambiental y ocupacional en la planta de cemento. Analizados los datos se concluye que existen tres zonas críticas en las operaciones de esta empresa: el quebrador primario, el molino tres y el área de CEPAL. El programa de control de polvo fugitivo busca la reducción de inmisiones de este polvo, beneficiando directamente a la protección de la seguridad, salud y ambiente de colaboradores propios, contratistas y cualquier otra persona que ingrese a las instalaciones.

1.1 Codificaciones

El programa de control de polvo fugitivo para la protección de los trabajadores expuestos a sílice cristalina y material particulado respirable cuenta con dos pilares principales, controles a nivel ingenieril y administrativo. Para los cuales se llevaron a cabo una serie de procedimientos, instructivos y formularios, que cuentan con la siguiente codificación.

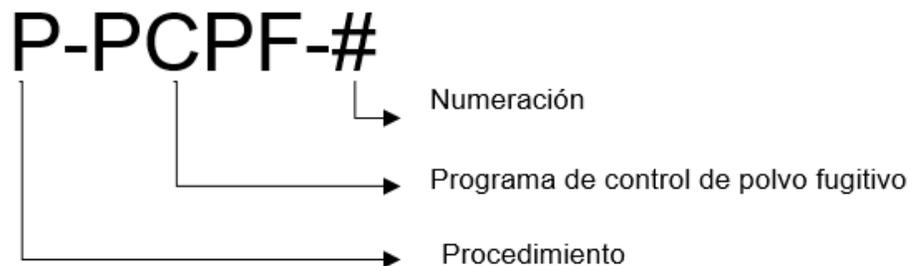


Figura 2. Codificación de los procedimientos

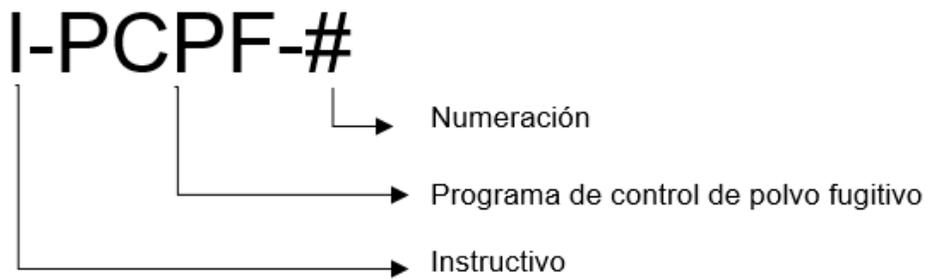


Figura 3. Codificación de los instructivos

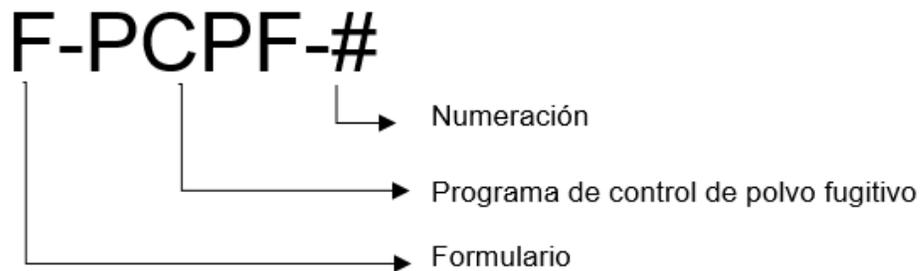


Figura 4. Codificación formularios

La codificación propuesta para este programa está basada en la utilizada en la planta de cemento, con el fin de que el programa esté alineado con la documentación de la organización.

II. Liderazgo para la prevención de los riesgos ocupacionales

A. Objetivos, metas, indicadores, actividades y recursos del programa

Objetivo general:

Recomendar alternativas de solución a nivel ingenieril y administrativo para la reducción de inmisiones de polvo fugitivo en las zonas del quebrador primario, molino tres y CEPAL.

En el siguiente cuadro, se enlistan los objetivos específicos de este programa, así como las metas y los indicadores asociados que se esperan cumplir cuando estos sean alcanzados.

Cuadro 1. Objetivos específicos, metas, indicadores, actividades y recursos del programa de control de polvo fugitivo

Objetivos específicos	Metas	Indicadores			Recursos
		Nombre del indicador	Fórmula ¹	Frecuencia de la medición	
Proponer tres controles ingenieriles en las zonas del Quebrador primario, Molino tres y CEPAL	Que se implementen estos tres controles ingenieriles en cada una de las áreas.	N/A	N/A	N/A	Humano Tiempo
Crear instructivos de mediciones ambientales y ocupacionales	Obtener valores de concentración anual ambiental a PM2,5 y PM10 por debajo del limite	Porcentaje de mediciones que se encuentran por debajo del límite de exposición ambiental	$\frac{\text{Cantidad de mediciones por debajo del TLV}}{\text{Total de mediciones}}$	1 vez al año	Tiempo Financieros Humano
	Obtener valores de concentración anual ocupacionales a sílice cristalina y MPR por debajo del limite	Porcentaje de mediciones que se encuentran por debajo del límite de exposición ocupacional	$\frac{\text{Cantidad de mediciones por debajo del TLV}}{\text{Total de mediciones}}$	1 vez al año	Tiempo Financieros Humano
Crear formularios de verificación del estado actual de los controles ingenieriles propuestos en este programa	Que se complete el 100 % de los formularios de verificación	Formularios completados de verificación del estado de los controles ingenieriles	$\frac{\text{Cantidad de formularios completados}}{54 \text{ formularios completados}}$	2 veces por mes	Tiempo Financieros Humano
Proponer una capacitación sobre polvo fugitivo para el personal que se encuentra ocupacionalmente expuesto a sílice y MPR	Participación del 100 % del personal ocupacionalmente expuesto a polvo fugitivo que designe la organización para que lleve la capacitación definida en el programa.	Cantidad de asistentes a la capacitación	$\frac{\text{Cantidad de asistentes}}{\text{Total de personal convocado}}$	1 vez al año	Tiempo Financieros Humano

Nota: ¹ Las fórmulas son porcentajes, por lo que deben ser multiplicados por 100.

B. Alcance

Este programa tiene como finalidad disminuir las inmisiones de polvo fugitivo en las instalaciones de Holcim Costa Rica, con el fin de proteger a los trabajadores de la exposición a sílice cristalina y material particulado respirable, mediante la implementación de controles a nivel ingenieril y administrativo en el quebrador primario, molino tres y CEPAL.

C. Compromiso de la alta gerencia

Actualmente, Holcim es una organización que se distingue por un alto grado de responsabilidad hacia el "cero daño", para esto se cuenta con un comité H&S país, conformado por los altos mandos de la organización, donde una vez al mes se reúnen para tratar temas relacionados con la mejora continua de la seguridad y salud, además se cuenta con una política de Seguridad y Salud (ver figura 5), enfocada en sus principios, valores y objetivos estratégicos, todo en función de la protección de sus colaboradores propios y contratistas.

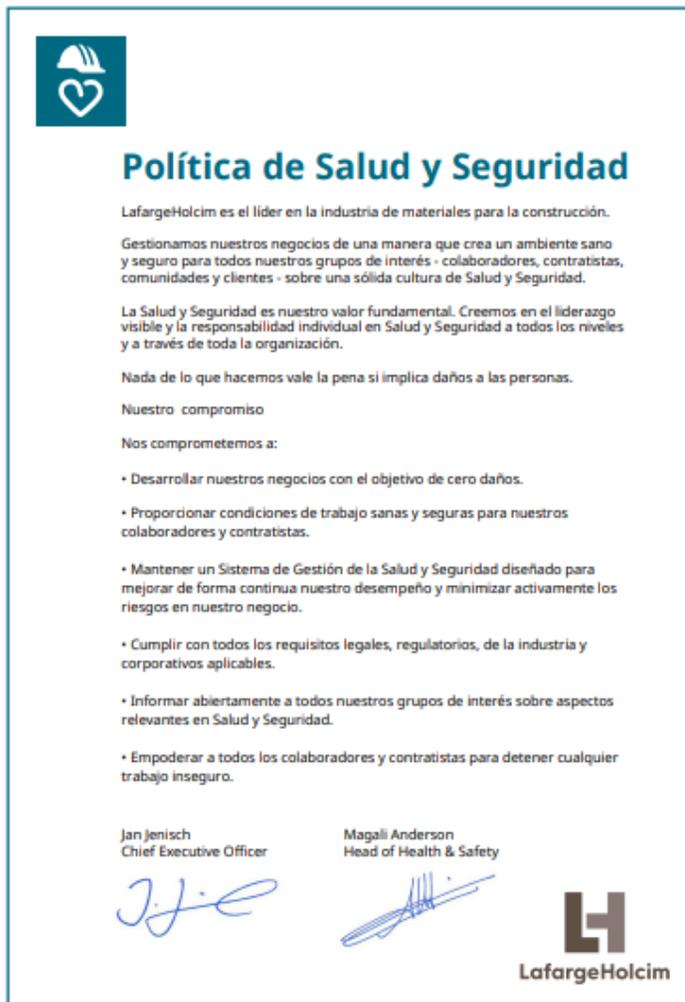


Figura 5. Política de Seguridad y Salud de Holcim Costa Rica

Fuente: Holcim, (2021)

D. Comunicación del compromiso con el programa

La organización cuenta con un departamento de comunicaciones, de transmitir la información a todo el personal de la organización mediante diversos medios de comunicación como:

1. Pantallas digitales
2. Pizarras
3. Página oficial de Holcim en intranet
4. Correo electrónico

Adicionalmente, es importante que este programa sea comunicado en las reuniones diarias o semanales que realiza cada uno de los departamentos en la organización, para que se abarque toda la población de Holcim.

E. Recursos

A continuación, se detallan los recursos humanos y económicos necesarios para la implementación del programa de control de polvo fugitivo.

- Económicos

Para la implementación del programa, se requieren de recursos económicos relacionados con la puesta en marcha de los controles ingenieriles y administrativos en las zonas del quebrador primario, molino tres y CEPAL, en el apartado VIII Presupuesto del programa se puede observar los costos asociados con la implementación de este.

- Humanos

La designación del recurso humano necesario para llevar a cabo la implementación del programa se representa en el siguiente cuadro.

Cuadro 2. Matriz de interesados en la implementación del programa

Involucrado	Leyenda	Nivel de influencia	Personal	Roles
Gerente general	GG	Alto	Interno	Aprobar el presupuesto
Departamento H&S	H&S	Alto	Interno	Aprobar el programa Revisar el cumplimiento del programa Capacitar acerca de temas relacionados con polvo fugitivo
Consultorio médico	CM	Alto	Externo	Coordinar los exámenes médicos anuales
Mantenimiento preventivo	MP	Alto	Interno	Coordinar plan de acción de mantenimientos preventivos
Mantenimiento	ME	Medio	Interno	Participar en revisiones eléctricas del

eléctrico				estado de los controles ingenieriles
Mantenimiento mecánico	MM	Medio	Interno	Participar en revisiones mecánicas del estado de los controles ingenieriles
Producción	P	Alto	Interno	Coordinar plan de limpieza de áreas presentan alta acumulación de polvo fugitivo
Proveeduría	PR	Bajo	Interno	Gestionar el presupuesto para la implementación de los controles
Personal propio	PP	Alto	Interno	Participar en capacitación Participar en los muestreos de exposición ocupacional a sílice y MPR
Personal contratista	PC	Alto	Externo	Reportar desviaciones de funcionamiento de los controles ingenieriles Participación de capacitación

III. Participación en el programa

A. Asignación de responsabilidades

A continuación, se describen mediante una matriz RACI, las principales responsabilidades de los interesados e involucrados en el programa de control de polvo fugitivo.

1. Gerente general

El representante legal de la empresa es el responsable de firmar y aprobar el presupuesto requerido para la implementación del programa de control de polvo fugitivo, adicionalmente tiene la responsabilidad de conocer y comprender el objetivo del programa y brindar los recursos necesarios para cumplir con la finalidad de este.

2. Departamento de H&S

El departamento de H&S es el principal encargado de impulsar el cumplimiento del programa, por lo que dentro de sus principales responsabilidades se encuentran:

- Revisar y aprobar el contenido del programa.
- Identificar y evaluar nuevos riesgos asociados a la exposición a polvo fugitivo.
- Realizar los muestreos ocupacionales y ambientales.
- Comunicar a la alta gerencia sobre cambios, incorporación de nuevas medidas y los resultados obtenidos con la implementación del programa.
- Llevar el control de los procedimientos que se deben realizar en este programa para la reducción de la exposición de inmisiones a polvo fugitivo.
- Llevar un control de los registros médicos de los trabajadores ocupacionalmente expuestos.
- Capacitar a los trabajadores en temas como:
 - Polvo fugitivo y sus consecuencias
 - ¿Por qué debo participar en los muestreos ocupacionales anuales?
 - Uso correcto del equipo de protección respiratoria

3. Consultorio médico

El consultorio médico es el encargado de coordinar y llevar a cabo los exámenes médicos anuales organizados por la organización. Entre los exámenes médicos que se realizan y que se encuentran realizados con la exposición a polvo fugitivo son las espirometrías y las radiografías de tórax.

4. Departamento de Mantenimiento Preventivo

El Departamento de Mantenimiento Preventivo tiene un nivel de influencia alto en la implementación y desarrollo del programa, este departamento es el encargado de realizar los mantenimientos preventivos programados en toda la planta de cemento, por lo que dentro de sus funciones se pueden mencionar crear y coordinar planes de acción de mantenimiento preventivo que involucren los controles ingenieriles que se desean recomendar, para que estos sean parte de las rutinas preventivas anuales.

5. Departamento de Mantenimiento Eléctrico

Dentro de las funciones que realiza actualmente el Departamento de Mantenimiento Eléctrico es verificar el funcionamiento de todos los equipos eléctricos de la planta de cemento, por lo que dentro de este programa de control de polvo tendrá como responsabilidad verificar que todas las instalaciones eléctricas de los controles ingenieriles están en perfecto estado de funcionamiento.

6. Departamento de Mantenimiento Mecánico

El Departamento de Mantenimiento mecánico, se encarga de la revisión de todos los elementos mecánicos de los equipos y maquinaria utilizada en la planta de cemento. Este Departamento se encarga de la revisión mecánica de los controles ingenieriles de este programa de control de polvo fugitivo.

7. Departamento de producción

Este departamento se encarga de todo lo relacionado con las limpiezas de equipos, máquinas y áreas, en el programa el área de producción tendrá la responsabilidad de incluir las zonas críticas dentro de planes de limpiezas más estrictos, así como asegurarse de la correcta limpieza de los controles ingenieriles.

8. Departamento de proveeduría

Se encargará de llevar a cabo todas las gestiones necesarias para el trámite de compras de los recursos requeridos para la implementación del programa de control de polvo fugitivo.

9. Personal propio

El personal propio tiene la responsabilidad de:

- Participar en todas las capacitaciones relacionadas con polvo fugitivo llevadas a cabo por el departamento de H&S.
- Participar de manera activa y positiva en los muestreos ocupacionales en los que se les pida la colaboración.
- Hacer uso del equipo de protección personal respiratorio designado en cada tarea.
- Realizar el cambio de los filtros de su equipo de protección respiratoria, siguiendo los criterios establecidos por Holcim.
- Realizarse los exámenes médicos anuales solicitados por Holcim (especialmente: espirometrías).

10. Personal contratista

El personal contratista tiene la responsabilidad de:

- Participar en todas las capacitaciones relacionadas con polvo fugitivo llevadas a cabo por el departamento de H&S.
- Hacer uso del equipo de protección personal respiratorio designado en cada tarea.

- Realizar el cambio de los filtros de su equipo de protección respiratoria, siguiendo los criterios establecidos por Holcim.

B. Matriz RACI

A continuación, se muestra la matriz de asignación de responsabilidades (RACI), la cual incorpora al personal que se encuentra en la matriz de interesados en la implementación del programa de control de polvo fugitivo (ver cuadro 2).

Cuadro 3. Matriz RACI

Actividad	Responsables								
	GG	H&S	CM	MP	ME	MM	P	PP	PC
Implementación del programa									
Guiar la implementación de programa de control de polvo fugitivo	I	R	I						
Poner en práctica y cumplir los procedimientos de trabajo	I	A		R	R	R	R	R	R
Identificar nuevos riesgos asociados a la exposición de polvo fugitivo	I	R		R	R	R	R	R	R
Capacitar a los trabajadores en el cumplimiento de los procedimientos de trabajo	I	R						P	P
Participar en las capacitaciones	I	A						P	P
Supervisar la ejecución de las actividades del programa	I	R		C	C	C	C		
Crear planes de mantenimientos en áreas críticas	I	A		R	P	P	P		
Crear planes de limpieza en zonas críticas por la acumulación de polvo	I	A		P	P	P	R		
Reportar desviaciones del funcionamiento de los controles ingenieriles	I	A		C	C	C	C	R	R
Control y seguimiento del programa									
Ejecutar el procedimiento para la evaluación del programa y control de resultados	I	R		C	C	C	C		
Establecer oportunidades de mejora continua	I	A		R	R	R	R		
Analizar desviaciones que se presentaron en el programa	I	A							

Realizar exámenes médicos anuales			R						
Actualización del programa									
Revisar contenidos del programa	I	R							
Verificar la presencia de nuevos procesos o cambios en el proceso productivo	I	R							
Realizar modificaciones en el programa	I	R							
Leyenda									
R: responsable	A: aprobador	C: consultado			I: informado			P: participa	
Nota : GG: gerente general, H&S: Departamento de Seguridad y Salud, CS: consultorio médico, MP: Departamento de Mantenimiento Preventivo, ME: Departamento de Mantenimiento Eléctrico, MM: Departamento de Mantenimiento Mecánico, P: Departamento de Producción, PP: personal propio, PC: personal contratista									

IV. Identificación de peligros y evaluación de riesgos

A. Vigilancia a la salud

En este programa no se consideran los aspectos relacionados con vigilancia médica, ya que estos son aplicados dentro del programa de protección respiratoria de la organización, donde se detallan las pruebas específicas que se realizan, así como la frecuencia y aspectos técnicos de las valoraciones médicas.

B. Evaluación ambiental a PM_{2,5} y PM₁₀

Para llevar a cabo la evaluación ambiental se deben tomar como base las mediciones realizadas en el año 2021. A partir de los resultados obtenidos en las zonas muestreadas, se deben replicar las mediciones con el fin de realizar comparaciones de los valores de concentración y evaluar la efectividad de los controles ingenieriles y administrativos con los que cuenta este programa. Para esto, se debe aplicar el siguiente instructivo para la toma de las mediciones ambientales a material particulado en los diámetros PM_{2,5} y PM₁₀.

	Instructivo I-PCPF-1 Evaluación ambiental a material particulado (PM2,5 y PM10)	Código:	I-PCPF.1
		Fecha:	20/11/2021
	Realizado por: Karina Román Solano	Versión:	N°1
	Revisado por: Silena Oviedo Mora	Página:	1 de 8

1. Propósito

Establecer los pasos a seguir para llevar a cabo la evaluación a nivel ambiental de material particulado en los diámetros PM2,5 y PM10 en las instalaciones de Holcim Costa Rica.

2. Alcance

Contar con un registro anual de las evaluaciones ambientales a material particulado en la planta de cemento, para establecer zonas críticas de intervención inmediata.

3. Documentos relacionados

- Estrategia de muestreo ambiental recomendada por el corporativo de Holcim, para cumplir con el objetivo estratégico de la organización *Health and Safety Improve Plan* (HSIP).
- Resultados de la evaluación ambiental a PM2,5 y PM10 realizada en el año posterior.
- Formulario F-PCPF-1 Acta de muestreo evaluación ambiental PM2,5 y PM10.
- Formulario F-PCFP-3 Gestión de formación.

4. Definiciones

Cuadro 1. Definiciones relacionadas con la estrategia de muestreo ambiental

Concepto	Definición
Material particulado	El material particulado es uno de los contaminantes atmosféricos más estudiados en el mundo, este se define como el conjunto de partículas sólidas y/o líquidas presentes en suspensión en la atmósfera, que se originan a partir de una gran variedad de fuentes naturales o antropogénicas
PM2,5	Partículas inhalables finas que tienen diámetros de, por lo general, 2,5 micrómetros y menores.
PM10	Partículas inhalables que tienen diámetros de, por lo general, 10 micrómetros y menores
Zonas críticas	Zonas que son consideradas por Holcim, como áreas con alta presencia de material particulado en los diámetros de 2,5 y 10 micrómetros.

5. Responsabilidades

- **Gerentes de área**

Brindar apoyo al Departamento H&S para el desarrollo de la evaluación ambiental a PM2,5 y PM10

- **Departamento de H&S**

Coordinar la realización de las mediciones, el análisis de resultados y un informe anual que deberá ser presentado a la alta gerencia

- **Departamentos de Mantenimiento preventivo, Mantenimiento eléctrico, Mantenimiento Mecánico y Producción**

Proponer soluciones ingenieriles en aquellas zonas que presenten altos niveles de exposición a material particulado

6. Descripción de actividades

Una persona competente o el encargado del área de H&S, llevará a cabo la evaluación ambiental a material particulado en los diámetros 2,5 y 10 micrómetros. Se debe contar con un equipo de medición de partículas en los diámetros PM2,5 y PM10, para lo cual se recomienda el uso del equipo PCE MPC 20, el cual es un contador de

partículas en aire que indica valores de PM2,5 y PM10 y fue adquirido por la organización en el año 2021, el cual deberá ser calibrado e inspeccionado por el proveedor, antes del uso de este. A continuación, se presenta un diagrama de flujo sobre las actividades que deben realizarse para realizar el muestreo.

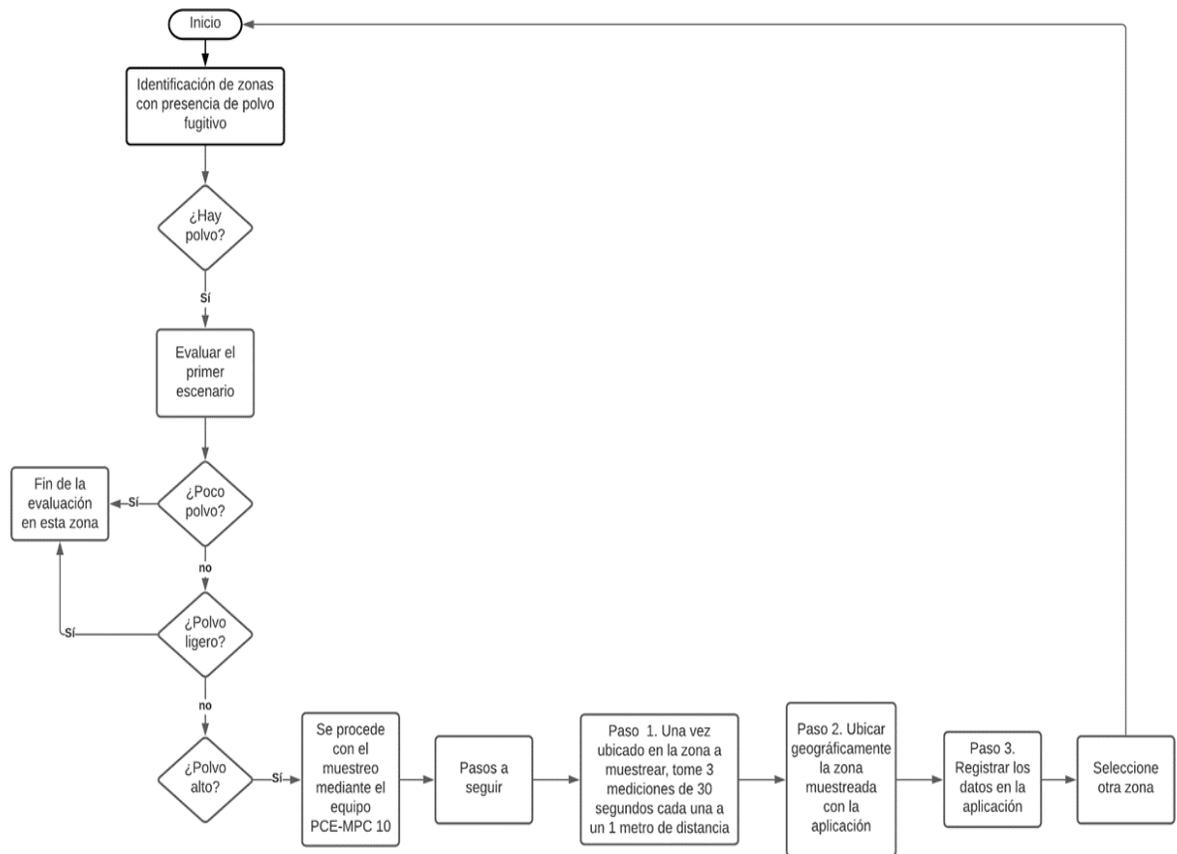


Figura 1. Estrategia de muestreo ambiental

- **Desarrollo de la estrategia ambiental**

La estrategia de muestreo que a continuación se desarrolla fue proporcionada por el corporativo de Holcim.

Paso 1

Analizar tres posibles casos:

- Poco polvo: Esta clasificación es cuando al llegar a la zona de muestreo se identifican zonas con fuentes de inmisión de polvo fugitivo muy bajo, la visibilidad de la inmisión es casi nula, la acumulación en el piso, equipos, escaleras, pasamanos, barandillas y pasarelas, entre otros, es imperceptible, esto quiere decir que el riesgo de inmisión de polvo es muy bajo, por lo cual no debe realizarse ninguna medición y se debe continuar con la identificación de otras zonas.
- Polvo ligero: Existencia de fuentes de polvo fugitivo, el polvo en este escenario tiene baja visibilidad, la acumulación en piso, equipos, escaleras, pasamanos, barandillas y pasarelas, entre otros, es menor de 5 cm. En este escenario no se realizan mediciones porque las acciones de control no son necesariamente inmediatas, ya que la organización necesita priorizar aquellas zonas que presenten los problemas más grandes de acumulación de polvo.
- Polvo alto: En este escenario se clasifican las áreas como zonas de cuidado o zonas críticas. Existe acumulación de polvo de manera severa en pisos, equipos, escaleras, pasamanos, barandillas y pasarelas, entre otros, por lo que se debe realizar mediciones ambientales PM_{2,5} y PM₁₀

Paso 2

Cuando se identifiquen las zonas que se encuentran en el caso polvo alto, se debe:

- Realizar tres mediciones puntuales de 30 segundos cada una, a un metro de distancia de la fuente, registrando los valores en el formulario ***F-PCPF-1-1 Acta de muestreo evaluación ambiental PM_{2,5} y PM₁₀***.

Paso 3

Se debe agregar los datos obtenidos en cada zona en la aplicación de polvo fugitivo, desarrollada por el corporativo de Holcim. Esta le permitirá contar con un registro de la ubicación geográfica de las áreas muestreadas,

- **Análisis de los datos**

El análisis de los datos será desarrollado por el Departamento de H&S. Se debe realizar una comparación entre los datos obtenidos y las mediciones realizadas el año previo a las mismas, con el fin de analizar en qué zonas la presencia de polvo fugitivo ha disminuido o aumentado.

- **Revisión anual de los valores máximos permisibles**

El encargado de realizar las mediciones deberá realizar una investigación acerca de los valores máximos permisibles

- **Informe de resultados**

Una vez realizado el análisis de los datos el Departamento de H&S deberá desarrollar un informe con los principales resultados en el cual se contemple:

- Objetivos de la estrategia de muestreo ambiental a PM_{2,5} y PM₁₀
- Áreas muestreadas
- Equipo utilizado
- Límites máximos permisibles: 3 mg/m³ según la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH)
- Principales resultados: zonas con valores de exposición más alto
- Comparación entre los resultados obtenidos un año anterior y el actual
- Conclusiones y recomendaciones

- **Toma de decisiones**

Se deben realizar las siguientes acciones en conjunto con la alta gerencia, los departamentos de Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento eléctrico, Mantenimiento Mecánico, Producción y H&S:

1. Analizar los controles ingenieriles con los que cuenta la organización más los propuestos en este programa, para definir si estos controles se encuentran en óptimas condiciones de funcionamiento y de no ser así se deben tomar medidas de corrección inmediatas

2. Una vez establecido que en la zona crítica no se cuenta con controles que puedan ser reparados o requieran mantenimiento, se debe crear un plan de acción para atacar la fuente de inmisión de polvo fugitivo.
3. Proponer un plan de ejecución de actividades a realizar para implementar el control ingenieril o administrativo que se decida incorporar, donde se contemplen
 - Actividades
 - Costo
 - Responsable
 - Fecha de ejecución

- **Gestión del cambio**

Se debe documentar en el formulario F-PCPF-3 Gestión de cambios, las modificaciones que se realicen en los controles ingenieriles y administrativos existentes o la implementación de nuevos controles, con el fin de reducir la exposición a polvo fugitivo en las instalaciones de Holcim Costa Rica.

- **Comunicación**

Se debe informar a toda la organización sobre las reparaciones o cambios que se realicen en las zonas o equipos, mediante el departamento de comunicaciones quien se encargará de realizar el comunicado correspondiente, una vez aprobado por el departamento de H&S.

- **Competencia y formación**

Se deberá proporcionar formación en materia de sensibilización sobre la exposición ambiental al personal técnico y operativo involucrado en el diseño y mantenimiento de las medidas de control de la exposición o que gestionen áreas de trabajo en las que estén presentes fuentes de exposición.

La información necesaria para realizar la capacitación sobre la exposición a polvo fugitivo se debe acceder al capítulo de capacitación y formación del programa de

	Formulario F-PCPF-3 Gestión de cambios		Fecha	11/12/2021
			Versión	N° 1
			Página	1 de 1
Realizado por: Karina Román Solano		Fecha:		
Revisado por: Silena Oviedo Mora		Responsable:		
Control ingenieril/ administrativo	Cambios	Nuevos controles	Observaciones	

C. Evaluación ocupacional de sílice cristalina y MPR

Para llevar a cabo la evaluación ocupacional a sílice cristalina y material particulado respirable se debe tomar como base las mediciones realizadas en el año 2021, además a continuación se proporciona un instructivo que cuenta con los pasos a seguir para la evaluación ocupacional.

	<p style="text-align: center;">Instructivo I-PCPF-2 Evaluación ocupacional a sílice cristalina y MPR</p>	Fecha	20/11/2021
		Versión	N°1
		Página	1 de 10
<p>Realizado por: Karina Román Solano Revisado por: Silena Oviedo Mora</p>			

1. Propósito

Establecer los pasos a seguir para llevar a cabo la evaluación a nivel ocupacional a sílice cristalina y material particulado respirable (MPR) en las instalaciones de Holcim Costa Rica.

2. Alcance

Contar con un registro anual de las evaluaciones ocupacionales a sílice cristalina y material particulado respirable a la que se encuentran expuestos los trabajadores de la planta de cemento de Holcim,

3. Documentos relacionados

- Reglamento para la prevención de la silicosis en los centros de trabajo
- Evaluación ocupacional a sílice cristalina y MPR realizada en el año 2021
- P.CL-SG 11 Monitoreo de Higiene industrial y salud
- Formulario F-PCPF-2-1 Acta de muestreo Evaluación Ocupacional
- Formulario F-PCPF-2-2 Bitácora de muestreo Evaluación Ocupacional
- Formulario F-PCPF-3 Gestión de cambios

4. Definiciones

Cuadro 1. Definiciones relacionadas con la estrategia de muestreo ocupacional

Concepto	Definición
Sílice cristalina	La sílice cristalina es un componente natural que se encuentra en forma abundante en rocas, suelo y arena. También se encuentra en el hormigón, el ladrillo, el mortero y en otros materiales para la construcción. La sílice cristalina puede presentarse en varias formas, el cuarzo es la más común. El polvo de cuarzo es la sílice cristalina respirable, lo que significa que puede inhalarse al respirar.
Material particulado respirable	Mezcla de partículas líquidas y sólidas, de sustancias orgánicas e inorgánicas, que se encuentran en suspensión en el aire. El material particulado forma parte de la contaminación del aire.
Tren de muestreo	Equipo conformado por una bomba, mangueras, dispositivo de captura, que permite la recolección de agentes ambientales químicos en un área de trabajo

5. Responsabilidades

- **Gerentes de área**

Brindar apoyo al Departamento H&S para el desarrollo de la evaluación ocupacional a sílice cristalina y material particulado respirable

- **Departamento de H&S**

Coordinar y realizar las mediciones, el análisis de resultados y un informe anual que deberá ser presentado a la alta gerencia

- **Departamentos de Mantenimiento preventivo, Mantenimiento eléctrico, Mantenimiento Mecánico y Producción**

Coordinar con los colaboradores que cada departamento tenga a cargo para que participen en el muestreo ocupacional

- **Personal propio y contratista**

Participar activamente de los muestreos ocupacionales

6. Descripción de actividades

• Actividades previas al muestreo

Una persona competente, llevará a cabo la evaluación ocupacional a sílice cristalina y MPR. Antes de iniciar con el muestreo el departamento de H&S deberá cotizar el muestreo y el análisis de las muestras, ya que actualmente la organización no cuenta con el equipo necesario para llevar a cabo este procedimiento ni con el laboratorio para hacer los análisis correspondientes. El personal a cargo de realizar el muestreo deberá contar con el siguiente equipo:

Cuadro 2. Dispositivos de captura utilizados para la toma de las muestras

Contaminante	Dispositivos de captura	Bomba de muestreo	Métodos para los muestreos
Sílice cristalina	<ul style="list-style-type: none">• Ciclón de nylon con porta filtros de dos cuerpos o ciclón de aluminio con porta filtros de tres cuerpos• Soportes de celulosa 37 mm• Filtros PVC de 37 mm y 5 µm de poro	Bomba de alto caudal (1-5 L/min) (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo., 2006). con mangueras plásticas para completar el tren de muestreo	NIOSH 7601
Material particulado respirable	<ul style="list-style-type: none">• Ciclón de nylon con porta filtros de dos cuerpos o ciclón de aluminio con porta filtros de tres cuerpos• Soportes de celulosa 37 mm• Filtros PVC de 37 mm y 0,8 µm de poro		MDHS 14/4

Se debe tomar en consideración que la estrategia de muestreo debe estar basada en la UNE EN 689:2019, ya que esta especifica una estrategia para realizar mediciones

representativas de la exposición laboral por inhalación de agentes químicos, con el objetivo de demostrar la conformidad con los valores límite de exposición profesional y la idoneidad de situaciones higiénicas concretas en los entornos . Asimismo, como requisito para implementar esta estrategia se debe:

1. Establecer cuatro grupos de exposición similar (GES) conformados por tres personas cada grupo. Los GES deben pertenecer a las siguientes áreas:
 - Mantenimiento mecánico
 - Mantenimiento eléctrico/preventivo
 - Producción
 - CEPAL

Nota: es importante que la organización verifique la homogeneidad de los grupos de exposición similar según los criterios que establece la UNE EN 689, con el objetivo de que estos realmente cuenten con características similares en aspectos tales como: tipo de tareas, frecuencia, jornada, duración de la tarea, entre otros.

2. Muestrear al menos el 70 % de la jornada laboral
3. Tren de muestreo

Cuando se cuente con todo el equipo necesario y conformación de los GES, el evaluador debe armar el tren de muestreo y colocarlo al trabajador. Considerando los siguientes pasos:

- Si cuenta con bombas que no se autorregulan, debe mediante un rotámetro realizar el ajuste de flujo de la bomba, si por el contrario la bomba se autorregula debe omitir este paso.
- Seguidamente, debe armar el tren de muestreo (esto siempre con el blanco destapado o los tres blancos en el caso de MPR), como se muestra en la siguiente figura.

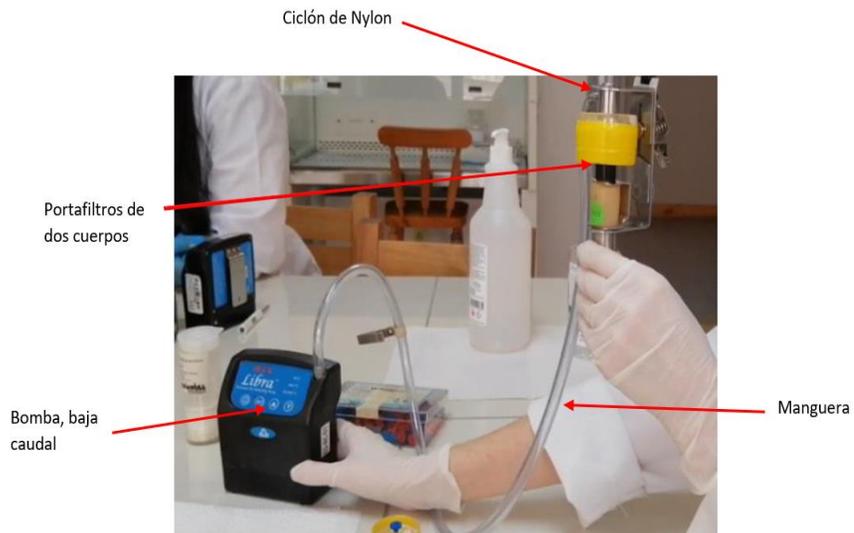


Figura 1. Tren de muestreo

- Colocar el tren de muestreo al trabajador, como se muestra en las siguientes figuras.

La manguera debe pasar por debajo del brazo



Figura 2. Colocación del tren de muestreo en el trabajador

Dispositivo de captura deberá estar lo más cerca posible de la nariz



Figura 3. Colocación del tren de muestreo en el trabajador

- **Desarrollo de la estrategia ocupacional**

El evaluador deberá reportar mediante el formato F-PCPF-2-01 Acta de muestreo ocupacional y F-PCPF-2-2 Bitácora de muestreo evaluación ocupacional dependiendo del agente químico a muestrear, los datos necesarios para realizar el muestreo.

- **Posterior a la recopilación de las muestras**

Se deberán enviar las muestras a un laboratorio acreditado, que sea capaz de analizar las muestras de sílice cristalina y MPR. Es importante que el laboratorio realice el método de análisis NIOSH 7601 para sílice y MDHS 14/4 para MPR. Una vez que estos datos sean analizados por el laboratorio, se debe realizar el análisis de los datos.

- **Transporte de muestras**

Debe considerar que una vez recopiladas las muestras se deben colocar en un recipiente que permita que los portafiltros no se vuelquen, con el fin de que el material recolectado para el análisis en el laboratorio no se vaya a ver afectado.

- **Análisis de los datos**

Una vez obtenidas las concentraciones brindadas por el laboratorio se debe realizar una comparación entre los valores de concentración en mg/m^3 de sílice cristalina y material particulado respirable y las mediciones realizadas el año previo con el fin de analizar si los valores de concentración han aumentado o disminuido, además de entrelazar los valores de concentración más altos con las tareas que se estaban realizando y las zonas en donde se encontraba el trabajador durante el muestreo.

- **Informe de resultados**

Una vez realizado el análisis de los datos el Departamento de H&S deberá desarrollar un informe con los principales resultados en el cual se contemple:

- Objetivos de la estrategia de muestreo ocupacional
- Cantidad de muestras realizadas por cada agente químico
- Equipo utilizado
- Límites máximos permisibles: $2 \text{ mg}/\text{m}^3$ para sílice cristalina y $3 \text{ mg}/\text{m}^3$ para MPR
- Principales resultados: colaboradores con mayores valores de concentración de exposición a sílice cristalina y MPR
- Comparación entre los resultados obtenidos un año anterior y el actual
- Conclusiones y recomendaciones

- **Toma de decisiones**

El departamento de H&S deberá, estudiar los casos con exposiciones a sílice y MPR que sobrepasen el límite de exposición ocupacional correspondiente para cada agente químico, para identificar qué nuevos controles ingenieriles y administrativos se deberán implementar para reducir la exposición a estos agentes. Se deberá, en conjunto con el consultorio médico, estudiar los controles actuales relacionados a vigilancia de la salud.

Un aspecto fundamental por considerar en la toma de decisiones es que el agente químico más peligroso, será el que se tomará como referencia para la implementación de controles ingenieriles y medidas para la protección del trabajador.

- **Gestión del cambio**

Se debe documentar los cambios que se realicen en los controles ingenieriles y administrativos existentes o la implementación de nuevos controles, con el fin de reducir la exposición a polvo fugitivo en las instalaciones de Holcim Costa Rica, en el formulario F-PCPF-3 Gestión de cambios.

- **Comunicación**

Se debe informar a toda la organización sobre la realización de las evaluaciones ocupacionales a sílice cristalina y MPR, con el fin de que el personal operativo se encuentre informado y anuente a participar en el muestreo. Esta comunicación se realizará mediante el departamento de comunicaciones, quien se encargará de realizar el comunicado correspondiente una vez que esté aprobado por el departamento de H&S.

- **Competencia y formación**

Se deberá proporcionar formación en materia de sensibilización sobre la exposición ocupacional a las siguientes personas:

- a. Personal operativo expuesto
- b. Supervisores del personal operativo expuesto

Para acceder a la información necesaria para realizar la capacitación sobre la exposición a polvo fugitivo, acceder al capítulo de capacitación y formación del programa de control de polvo fugitivo para la protección de los trabajadores a la exposición de sílice cristalina y MPR.

- **Conservación de registros**

	Formulario F-PCPF-2-2		Fecha	30/11/2021
	Bitácora de muestreo evaluación ocupacional		Versión	N° 1
			Página	1 de 1
Realizado por: Karina Román Solano		Fecha:		
Revisado por: Silena Oviedo Mora		Responsable:		
Agente químico para muestrear: ___ Sílice cristalina ___ Material particulado respirable				
Nombre del trabajador	Observaciones			

	Formulario F-PCPF-3		Fecha	11/12/2021
	Gestión de cambios		Versión	N° 1
			Página	1 de 1
Realizado por: Karina Román Solano		Fecha:		
Revisado por: Silena Oviedo Mora		Responsable:		
Control ingenieril/ administrativo	Cambios	Nuevos controles	Observaciones	

V. Prevención y control de riesgos

A continuación, se detallan los controles ingenieriles y administrativos propuestos para las zonas más críticas de la organización, según los resultados arrojados en la evaluación ambiental y ocupacional realizada en el año 2021.

A. Controles ingenieriles

Los controles ingenieriles recomendados para este programa de control de polvo fugitivo se enfocan en tres principales áreas de la planta de cemento: el quebrador primario, el molino tres y CEPAL. Para cada una de las áreas se proponen tres controles ingenieriles. Posterior a la explicación técnica de cada una de las propuestas, se procede seleccionar un control por área con ayuda de una matriz multicriterio. En el siguiente cuadro se presenta un resumen de lo mencionado anteriormente.

Cuadro 4. Resumen de los controles ingenieriles

Áreas	Nombre de las propuestas de controles ingenieriles	Propuesta seleccionada
1 Quebrador primario	1.1 Cambio del material de la tela del filtro 211 FT1, revisión y reparación del colector de polvo	Cambio del material de la tela del filtro 211 FT1, revisión y reparación del colector de polvo
	1.2 Sistema de aspersion fina	
	1.3 Sistema de inyección de niebla	
2 Molino tres	2.1 Reparación bajante 510 EC1 y desempolvamiento	Desatascamiento de ductos de filtros
	2.2 Faldones autoajustables para banda transportadora de clinker	
	2.3 Desatascamiento de ductos de filtros	
3 CEPAL	3.1 Barredora industrial	Barredora industrial
	3.2 Sistema de sellado por ultrasonido para sacos de cemento	
	3.3 Encerramiento área de ensacadora y paletizadora	

La matriz multicriterio que se utilizó para la selección del control ingenieril contempla los siguientes aspectos: requisitos ambientales, salud, seguridad, sociales,

proceso, económicos y culturales. En el siguiente cuadro se presentan los criterios y el valor asignado a cada ítem, con el propósito de obtener un valor numérico que permita seleccionar el control ingenieril más idóneo para la empresa.

Cuadro 5. Criterios y valores asignados para la selección del control ingenieril que mejor se adapte a las condiciones de la organización

Escala de puntuación						
Valor	Ambiental	Proceso	Costo	Seguridad y Salud	Cultural	Reglamentación
1	Genera un alto impacto al ambiente	La propuesta afecta la totalidad de la producción para su instalación	Su elaboración conlleva el costo más alto	No beneficia en nada a la seguridad y salud de los trabajadores	No promueve una cultura de seguridad y salud en los colaboradores	Su elaboración conlleva el costo más alto
2	Genera un impacto medio al ambiente	La propuesta afecta parcialmente la producción para su instalación	Su elaboración conlleva un costo intermedio	Beneficia de manera intermedia a la salud del trabajador	Promueve parcialmente la cultura de seguridad y salud	Su elaboración conlleva un costo intermedio
3	Genera un impacto bajo al ambiente	La propuesta no afecta la totalidad de la producción para su instalación	Su elaboración conlleva el costo más bajo	Beneficia al 100 % la salud del trabajador	Promueve la cultura de seguridad y salud	Su elaboración conlleva el costo más bajo
Nota: para el criterio de reglamentación, se toma en consideración únicamente el reglamento de prevención de silicosis en los centros de trabajo ya que este es el más restrictivo que se debe cumplir a nivel nacional.						

El proceso realizado para la selección del control, según los criterios mostrados en el cuadro anterior, consistió en asignar un valor del uno al tres por cada escala de puntuación, seguidamente se realizó la suma aritmética de cada ítem para los controles ingenieriles de cada área, y aquel control con la nota más alta fue el control

elegido, puesto que cumplía con la mayor cantidad de criterios para la reducción de las inmisiones de polvo fugitivo en las instalaciones de Holcim.

1. Quebrador primario

El quebrador primario tiene como función triturar el material procedente de la mina, para posteriormente ser utilizado para crear el clínker, el cual es la materia prima del cemento. Por las funciones que este equipo realiza, la generación de polvo fugitivo es sumamente alta, generando directamente una alta exposición ocupacional a sílice cristalina y material particulado respirable a los colaboradores.

En la siguiente figura se puede observar de manera esquemática los motores, bandas, filtro, ventilador y demás sistemas mecánicos y eléctricos con los que cuenta el quebrador primario.

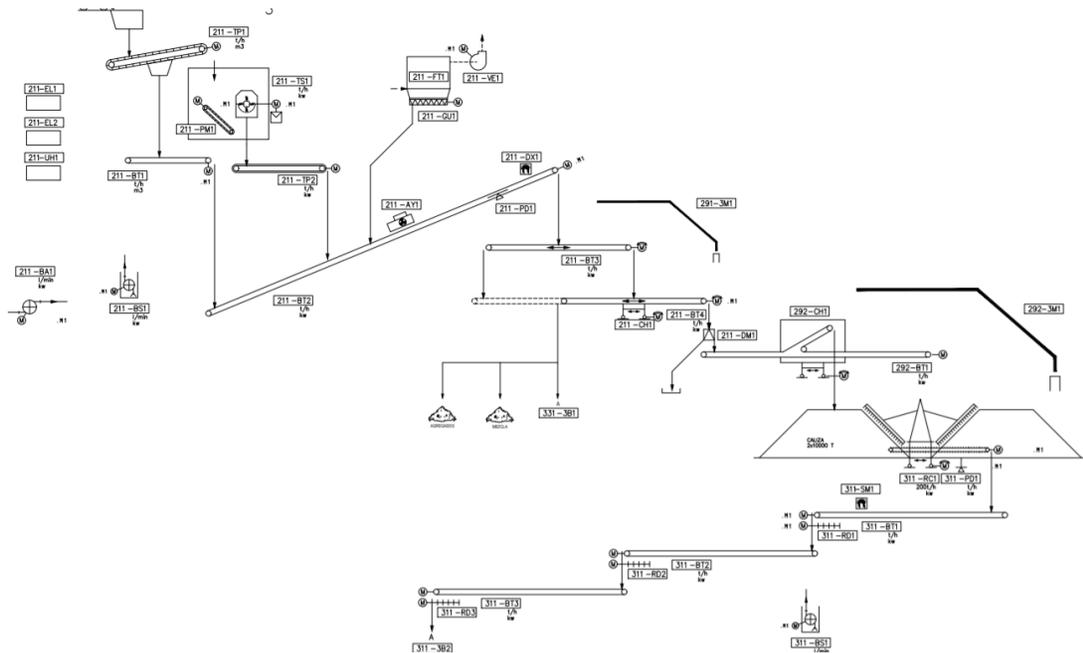


Figura 6. Diagrama esquemático del quebrador primario de Holcim Costa Rica

1.1 Cambio del material de la tela del filtro 211 FT1, revisión y reparación del colector de polvo

Por las altas inmisiones de polvo que genera el quebrador primario, este cuenta con un sistema de recolección de polvo actualmente fuera de servicio, el cual es un filtro de mangas con capacidad del ventilador de 50.000 m³/h. Los sistemas de recolección de polvo son la técnica de control de ingeniería más utilizada por las plantas de procesamiento de minerales para controlar el polvo y reducir la exposición al polvo respirable de los trabajadores. Un sistema de recolección de polvo bien integrado tiene múltiples beneficios, lo que resulta en un ambiente libre de polvo que aumenta la productividad y recupera productos valiosos (Cecala, B., et al.,2012).

Estos sistemas capturan el polvo generado por diversos procesos, como la trituración, el fresado, el cribado, el secado, el embolsado y la carga, y luego transportan este polvo a través de conductos, a un dispositivo de filtrado de recolección de polvo. Al capturar el polvo en la fuente, se evita que se libere en la planta de procesamiento y contamine la atmósfera respiratoria de los trabajadores (Cecala, B., et al.,2012).

Para reducir las inmisiones de polvo al ambiente, como primera medida se propone la puesta en marcha del filtro del quebrador primario con el fin de reducir la exposición ocupacional de los trabajadores. Una de las razones por las cuales el filtro con HAC 211-FT1 no está en funcionamiento es porque la tela de las mangas del filtro se dañó, debido a que se han tamizado por la humedad ambiental y por los procesos de evaporación internos que suceden en el quebrador primario.

Es importante mencionar que las condiciones ambientales dentro del equipo son de 80 °C y existe alta presencia de material particulado en todo el proceso de trituración. Cabe destacar que cuando el filtro estaba en funcionamiento, este debía usarse sólo cuando las condiciones del ambiente eran secas si no, como se mencionó anteriormente, las mangas del filtro se dañarían porque la humedad provocaría la acumulación de material en la tela, impidiendo así que el filtro realice su función. En

consecuencia, como primera medida de control ingenieril se propone el cambio del material de la tela por una que resista humedad y altas temperaturas.

La tela del filtro de mangas del quebrador primario es de tipo poliéster agujado, según la información brindada por el Ingeniero Rogelio Ulloa, coordinador de proyectos en Holcim, este tipo de tela no les brindó los resultados que ellos esperaban. Por lo que, para solucionar este problema se propone el uso de tela de politetrafluoroetileno (PTFE). El PTFE es un polímero fluorado, conocido comúnmente como teflón. Dentro de las principales propiedades de esta tela es que no es reactiva, hidrofobicidad, bajo coeficiente de fricción y buenas propiedades aislantes (Radulovic S., W. Wojcinski. 2014).

Sumado al cambio de la tela, es importante que se lleve a cabo una revisión de las demás partes del filtro y de todo el colector de polvo, para asegurar una puesta en marcha exitosa. En la siguiente figura se muestra el funcionamiento general de colector de polvo y sus partes.

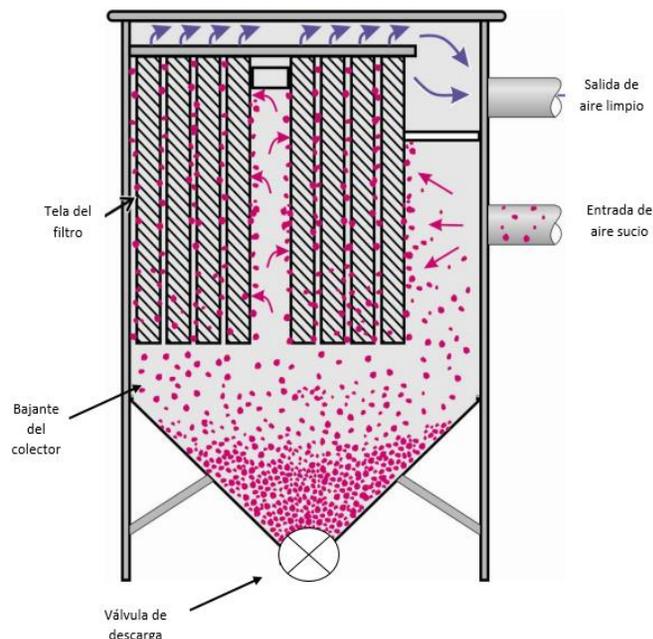


Figura 7. Partes del colector de polvo

Fuente: Cecala, B., et al. (2012).

En resumen, para la puesta en marcha del colector de polvo, como primera medida se debe realizar el cambio de la tela del filtro y revisar las condiciones físicas de todo el colector de polvo, desde el bajante hasta la válvula de descarga.

Costos del control ingenieril 1

En el siguiente cuadro se detallan los costos asociados al control ingenieril Cambio del material de la tela del filtro 211 FT1, revisión y reparación del colector de polvo

Cuadro 6. Costo del material de la tela del filtro 211 FT1, revisión y reparación del colector de polvo en general

Apartado	Costo en colones (₡)
Tela de filtro PTFE	3 850 000
Limpiezas de todo el colector	628 000
Reemplazo de la válvula	300 000
Total	4 428 000
<p>Nota: El precio del metro para la tela del filtro es de 350 000 colones, esta información fue proporcionado por Agencias Vivo, el precio de la limpieza del colector y remplazo de válvula fue brindada por el Ingeniero Adrián Muñoz coordinador de Mantenimiento Eléctrico de Holcim. Este precio es sin considerar la cantidad de metros que se requieren para todo el filtro, una vez que la empresa decida que quiere optar por esta solución se debe medir la cantidad de metros que se requieren.</p> <p>La cantidad de metros de tela que se requieren para el filtro son: 11 metros, considerando que el filtro tiene dimensiones de 5,5 metros de largo y 2 de ancho, esta información fue brindada por Julio Monge, supervisor del área de mantenimiento mecánico.</p>	

1.2 Aspersión fina

Un control ingenieril que se implementó en el quebrador primario para apaciguar la cantidad de polvo en el ambiente y reducir la exposición a polvo fugitivo, tanto ambiental como laboral, consistió en colocar sistemas de agua mediante tubería en distintos puntos del quebrador, con el fin de que, al momento de la descarga del material, este se humedezca y no genere alta exposición a polvo fugitivo. Este sistema de agua es accionado en la sala de control, desde donde el operador verifica las condiciones ambientales del quebrador y acciona el sistema de agua, el cual funciona

casi que la mayoría del tiempo. En la siguiente figura se representa la ubicación de las tuberías de las salidas de agua en el quebrador.

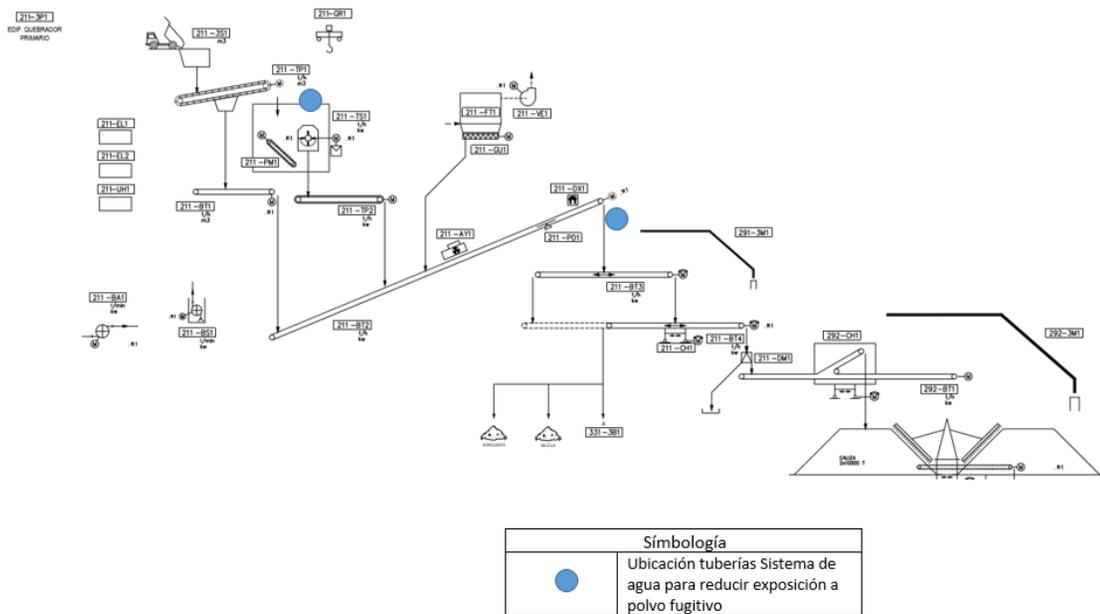


Figura 8. Ubicación tuberías de sistemas de agua en el quebrador primario

El problema que sucede con este control es que la descarga de agua es estilo chorro (figura 10) y no aspersion fina o niebla (figura 11), lo cual sería lo ideal, ya que en una aspersion de fina o de niebla la captura de partículas de polvo es mayor, porque se producen más colisiones entre las gotas de agua y las partículas de polvo, generando que se humedezcan y se agranden hasta el punto de pasar de la suspensión al piso.



Figura 9. Aspersion a chorro de agua



Figura 10. Aspersion a chorro de agua

Es importante considerar que el aplicar agua en chorro, en las zonas señalizadas en la figura 8, beneficia en que el material sea humedecido para que no genere alta exposición a polvo fugitivo, pero el agregar cantidades descontroladas de agua afecta la integridad y calidad del material, rociar agua en chorro (figura 9) puede generar grandes problemas, por lo que para este control ingenieril se propone colocar en la salida de las tuberías boquillas de aspersion fina (figura 10). Este tipo de aspersion permite contar con un equilibrio entre requerimientos de seguridad, salud y calidad del material.

El principio de funcionamiento de las boquillas de aspersion que se desean proponer para este diseño es que el agua pase a través de las ranuras de un componente central, generando que el líquido gire a una alta velocidad, esta acción de giro hace que el líquido rompa las gotas de agua para formar el patrón de descarga (Spraying Systems Co, s.f.), tal y como se muestra en la figura 11.

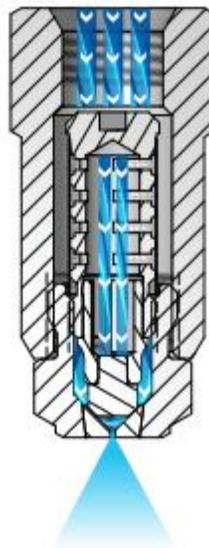


Figura 11. Funcionamiento boquilla de aspersion

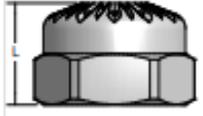
Fuente: Spraying Systems Co, s.f.

A continuación, se describen ciertas características importantes de la boquilla de aspersion seleccionada.

Cuadro 7. Características importantes de la boquilla de aspersion seleccionada

Especificación	Descripción
Marca	FogJet FF
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Aspersión en forma de niebla en un patrón de aspersión denso de cono hueco • No se requiere de aire comprimido. • Gotas pequeñas. • Distribución uniforme en flujos grandes. • Conjunto de dos piezas con un adaptador que permite una conexión hembra de rosca para manguera
Material	Acero inoxidable y latón
Aplicaciones	Control de polvo
Representación	 <p>Fuente: Spraying Systems Co, s.f</p>
Medidas en las que se encuentra disponible	<ul style="list-style-type: none"> • ¾ a 1 ¼ pulgadas de conexión • Para observar las dimensiones referirse a la figura 11

En la siguiente figura, se puede observar las dimensiones de las distintas boquillas de aspersión que ofrece el proveedor

Nozzle	Nozzle Type	Inlet Conn. (in.)	L (in.)	D (Dia.) (in.)	Net Weight (oz.)
	FF (F)	¾	1.000	1.375	3.0
		1	1.156	1.656	5.0
		1-1/4	1.218	2.094	7.0

Based on the largest/heaviest version of each type.

Figura 12. Dimensiones boquilla de aspersión en forma de niebla en un patrón de aspersión denso de cono hueco

Fuente: Spraying Systems Co, s.f.

Para la selección específica de la boquilla, la única forma de poder acceder al diámetro de la tubería es cuando el equipo está detenido, sin embargo, en la página del proveedor se encuentran diversos diámetros de boquilla y en el almacén de Holcim se cuentan con reductores para colocar el diámetro de boquilla que se requiera.

Costos del control ingenieril 2

En el cuadro 8, se enlista los costos que implicaría si se selecciona la propuesta de aspersión fina

Cuadro 8. Costo de la aspersión fina

Apartado	Costo en colones (₡)
Boquilla de aspersión fina	6 900
Reductores	N/A
Tubería	N/A

Nota: No se incluyó el costo de los reductores y tuberías de distintos diámetros porque estos se encuentran disponibles en el almacén de Holcim

1.3 Sistema de inyección de niebla

El sistema de inyección de niebla consiste en una boquilla de atomización que contiene un oscilador acústico que atomiza los líquidos cuando pasan a través de un campo de ondas sonoras de alta frecuencia donde el aire es acelerado por encima de la velocidad del sonido dentro de una sección convergente/divergente, rebotando, amplificando y complementando la onda de choque. Cualquier líquido que pasa por la onda de choque será atomizado en gotas muy finas (Araco, s.f.)

El aire acarrea las gotas atomizadas como un aerosol de baja velocidad. Los amplios orificios de la boquilla y la baja presión de los fluidos previenen del desgaste incrementando la vida de la boquilla. La mayor ventaja de las boquillas de atomización

por agua y aire es su habilidad de proveer una calidad de atomización consistente sobre un amplio rango de flujo (Araco, s.f.)

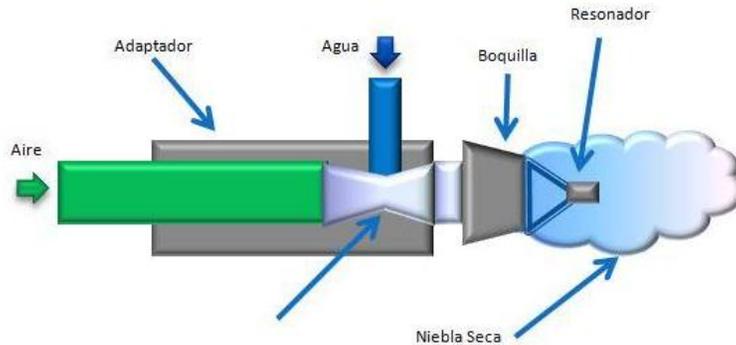


Figura 13. Representación del sistema de supresores de polvo por aglomeración de tipo sónico

En el año 2020, el Departamento de Proyectos de Holcim Costa Rica, llevó a cabo un estudio sobre los puntos donde se genera la mayor cantidad de producción de polvo al momento de realizarse el proceso de trituración en el quebrador primario, los cuales corresponden a:

- Descarga de camiones de la mina
- Los traspasos entre el alimentador 211-TP2 a la correa 211-BT1
- Los traspasos de las correas 211-BT1 a 211-BT2, 211-BT2 a 211-BT3,
- Los traspasos 211-BT3 a 211-BT4
- Los traspasos 211-BT4 a la correa tripper 292-BT1.

En la siguiente figura, se demarcan en color rojo estos puntos seleccionados por el departamento de proyectos como puntos de alta generación de polvo fugitivo.

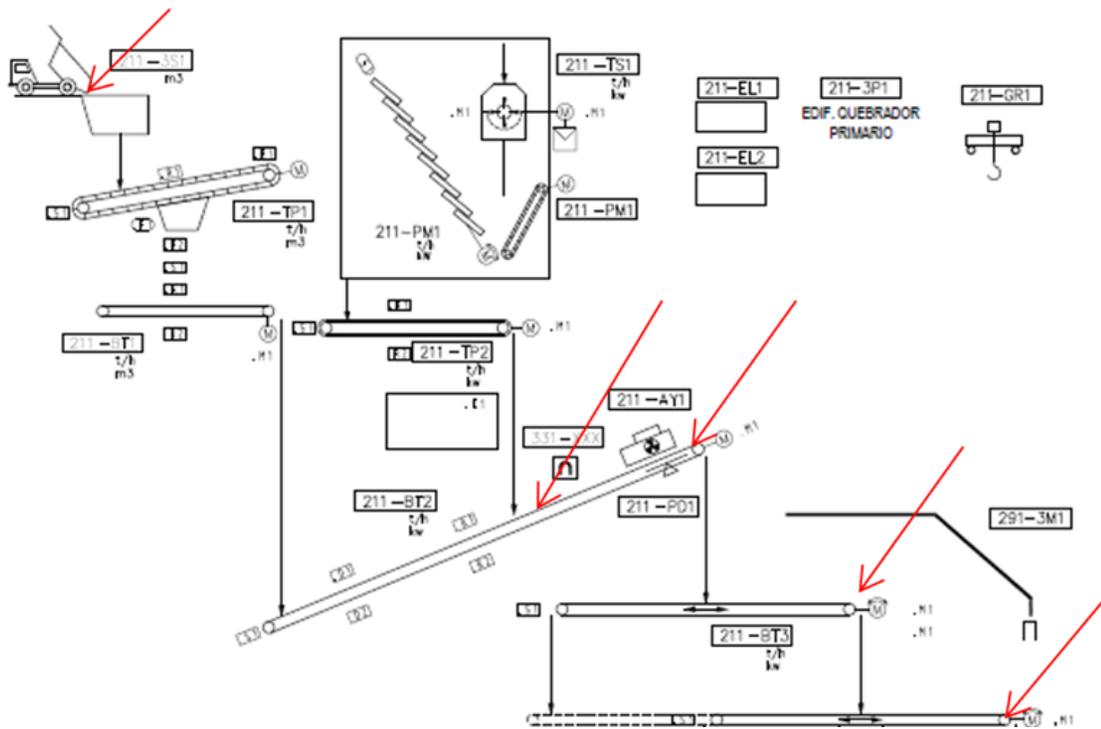


Figura 14. Puntos con mayor generación de polvo fugitivo

A partir de este estudio, se propone colocar en cada una de estas zonas supresores de polvo por aglomeración de tipo sónico, es decir, que utilizan aire a presión, para la atomización de agua, con boquillas especialmente diseñadas para este fin, como se explicó en párrafos anteriores.

Los sistemas supresores de polvo sónicos son los únicos sistemas húmedos existentes en el mercado, que logran alcanzar tamaños de gotas inferiores a 10 micrómetros, pudiendo incluso, alcanzar tamaños inferiores a 2,5 micrómetros, por lo tanto, son capaces de suprimir polvo que es capaz de afectar la salud del ser humano y las maquinarias (especialmente, circuitos electrónicos de instrumentación) (Grupo Air solutions, 2021).

En el siguiente cuadro, se describen los elementos que se requieren para implementar el sistema de supresores de polvo por aglomeración de tipo sónico en las zonas mostradas en la figura 14.

Cuadro 9. Elementos que se requieren para implementar el sistema de supresores de polvo por aglomeración de tipo sónico

Zona	Requisitos
Descarga de camiones	<ul style="list-style-type: none"> • 1 gabinete multifunción principal de circuito simple • 1 gabinete de control eléctrico • 36 boquillas atomizadoras hidráulicas, modelo EXHP-020 • 36 porta boquillas • 6 manifold de 3 metros y 6 salidas a boquillas • 6 pack de flexibles para aducción de agua a manifolds • 6 pares de soportes especiales para manifolds • Suportación para líneas flexibles • Embalajes para transporte de material por carretera y/o aéreo.
Descarga de camiones de la mina Los trasposos entre el alimentador 211-TP2 a la correa 211-BT1 Los trasposos de las correas 211-BT1 a 211-BT2, 211-BT2 a 211-BT3 Traspaso 211-BT3 a 211-BT4 Traspaso 211-BT4 a la correa tripper 292-BT1	<ul style="list-style-type: none"> • 1 gabinete multifunción principal de circuito simple • 1 gabinete de control eléctrico • 8 boquillas atomizadoras hidráulicas, modelo EXHP-020 • 8 porta boquillas completos. • 8 montajes soldados • 8 pack de flexibles para aducción de agua a boquillas • Suportación para líneas flexibles • Embalajes para transporte material por carretera y/o aéreo

Costos del control ingenieril 3

La empresa Grupo Air realizó la cotización de este diseño, el cual se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 10. Oferta económica realizada por la empresa Grupo Air para el diseño de sistema de supresores de polvo por aglomeración de tipo sónico

Cantidad	Unidad	Descripción	Precio (₡)
1	gal	Sistemas supresores de polvo, para trasposos descritos anteriormente	1 693 134
1	gal	Sistema supresor de polvo descarga de camiones	8 754 559
1	gal	Sistema supresor de polvo para Traspaso entre el	8 754 559

		alimentador 211-TP2 a la correa 211-BT1	
1	gal	Sistema supresor de polvo para Traspaso de las correas 211-BT1 a 211-BT2.	8 754 559
1	gal	Sistema supresor de polvo para Traspaso de la correa 211-BT2 a 211-BT3.	8 754 559
1	gal	Sistema supresor de polvo para Traspaso de la correa 211-BT3 a 211-BT4.	8 754 559
1	gal	Sistema supresor de polvo para Traspaso de la correa 211-BT4 a la correa tripper 292-BT1.	8 754 559
Total			61 269 151,4
Nota: El precio total incluyen el I.V.A, pero no ningún otro impuesto relacionado con la importación de los equipos al país			

Matriz de elección para el control ingenieril del quebrador primario

Una vez explicadas las características técnicas de los tres controles ingenieriles propuestos, se procede a realizar la matriz de elección del control ingenieril que mejor se adapte a las características y necesidades de la organización.

Cuadro 11. Matriz de elección del control ingenieril del quebrador primario

Control	Criterios de evaluación						
	Ambiental	Proceso	Costo	Seguridad y Salud	Cultural	Reglamento	Valor
Cambio del material de la tela del filtro 211 FT1, revisión y reparación del colector de polvo en general	3	3	2	3	3	3	17
Aspersión fina	2	1	1	2	3	2	11
Sistema inyección de niebla	1	1	3	3	3	3	14

Como se puede observar en la matriz anterior, el control seleccionado es el cambio del material de la tela del filtro 211 FT1, revisión y reparación del colector de polvo en general. A continuación, se explica por qué este es el control seleccionado.

Cuadro 12. Explicación de selección del control ingenieril para el quebrador primario

Criterio	Explicación
Ambiental	A nivel ambiental se busca que el control no genere problemas al ambiente, en este caso, el control seleccionado, por lo contrario, generaría efectos positivos al ambiente, ya que al reemplazar las mangas del filtro se limpiará en mayor cantidad el aire que pasa por el sistema de filtración, de igual forma sucede al reparar el colector de polvo, ya que este atraparé todas aquellas partículas capaces de contaminar el ambiente.
Proceso	El implementar este control no interfiere en lo absoluto con el proceso productivo de la organización, ya que el funcionamiento del filtro no está ligado directamente con el quebrador, sino funciona como un sistema aparte.
Costo	El costo de este control es intermedio en comparación con las otras dos propuestas de control ingenieril, a pesar de presentar un costo para la organización, es indispensable que este filtro entre a funcionar lo más pronto posible para reducir las inmisiones de polvo.
Salud y seguridad	Por funcionamiento, el filtro tiene como finalidad aspirar el aire que contiene material particulado de diámetros que son capaces de penetrar el sistema respiratorio de las personas produciéndose severos daños en su salud, por lo que poner en servicio este filtro junto con el uso correcto del equipo de protección personal, generaría que las personas que se encuentren realizando labores en el quebrador primario puedan encontrarse protegidas de la exposición de sílice cristalina y material particulado respirable.
Cultural	El implementar este control, ayudará directamente al incremento de la cultura de seguridad y salud de los trabajadores, ya que el cambio de la tela del filtro, revisión y reparación del colector de polvo, generará que el colaborador sienta que la organización esta implementado medidas para mejorar la calidad del aire donde estos desempeñan funciones
Reglamento	Este control cumple con el artículo 14 del Reglamento de la prevención de la silicosis en los centros de trabajo, que dice que en las operaciones permanentes que desprendan polvo de sílice cristalina, la persona empleadora debe implementar controles de ingeniería, ya sea en la fuente, el medio o el receptor, así como prácticas de trabajo seguras (CSO, 2016).

2. Molino tres

El molino tres, es un molino de bolas, que cuenta con una capacidad instalada de 40 toneladas, su función es moler aditamentos más el clínker para la formación de los distintos tipos de cemento. La zona donde se encuentra ubicado el molino cuenta con bandas transportadoras, tolvas, sistemas de desempolvamiento, filtros, ventiladores, sistemas mecánicos y eléctricos, tales como se observan en la figura 14.

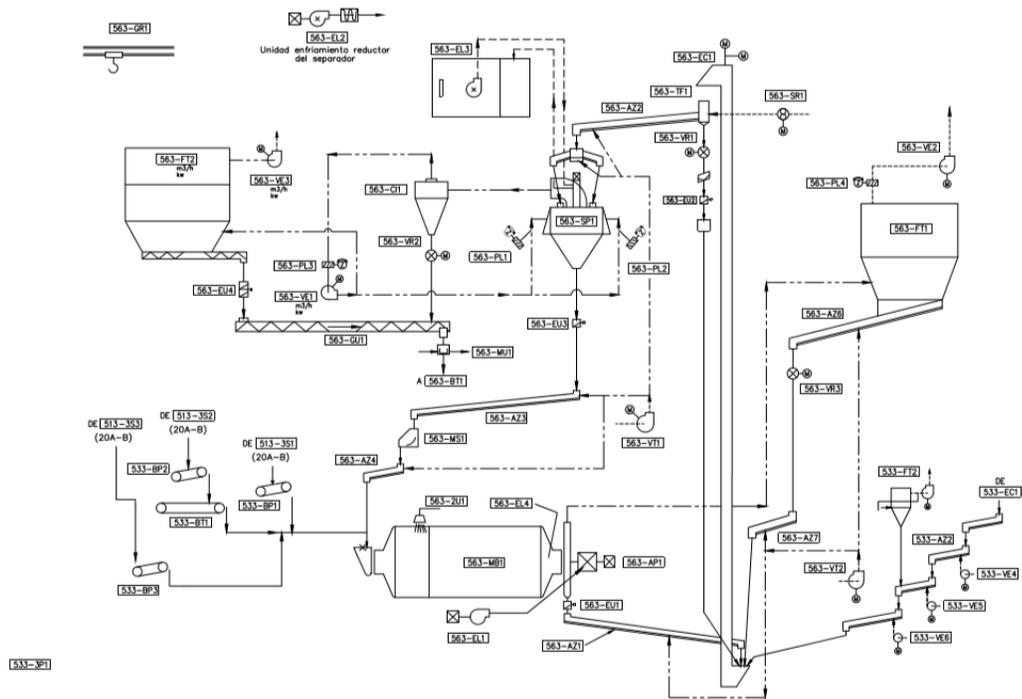


Figura 15. Ubicación molino tres

El transporte del cemento en el molino es mediante bandas transportadoras, por lo que estos sistemas deben contar con todo tipo de controles ingenieriles para el control del polvo fugitivo a la que están expuestos los colaboradores, máquinas, equipos y todo en área en general; por lo que para el control de polvo fugitivo en esta zona se propone:

2.1 Reparación bajante 510 EC1 y desempolvamiento

Los bajantes son ductos por los cuales se desplaza el material que alimenta las bandas transportadoras. El funcionamiento principal de estos equipos es colocar el material en el centro de la banda transportadora para que no se produzcan derrames. Los bajantes deben funcionar en conjunto con los desempolvamientos, esto para que, al momento de caer el material del bajante a la banda transportadora, el desempolvamiento atrape la mayor cantidad de polvo que se desplaza al caer el material.



Figura 16. Bajante 510 EC1 y desempolvamiento

El bajante 510 EC1 y el desempolvamiento presentan daños a nivel estructural, lo que genera que se presenten fugas al momento de que el material pasa por el bajante, generando que el material no se dirija al centro de la banda transportadora, sino por el contrario, produciendo derrames de material. Es importante mencionar que este bajante y desempolvamiento se ubican en el piso más alto del molino tres, por lo que derrames de material en esta banda trae como consecuencia acumulación en los pisos inferiores, generando exposición ocupacional y ambiental a los colaboradores, daños a equipos, máquinas, escaleras, pasillos, barandas, estructuras, entre otros.

Para este control se propone como prioridad la reparación de las fugas del bajante y la limpieza del desempolvamiento, una vez intervenidos el bajante y el desempolvamiento se propondrá una lista de tareas prioritarias que se deben realizar para la recuperación y limpieza de toda el área del molino tres.

Costos control ingenieril 1

En el cuadro 13, se enlista los costos asociados al control ingenieril de la reparación bajante 510 EC1 y desempolvamiento, tomando en consideración la lista de actividades que deberán realizar una vez reparados el bajante y el desempolvamiento.

Cuadro 13. Actividades que deben realizarse en el molino tres para la recuperación de áreas

Actividad	Zona	Costo por actividad (₡)			
Reparación del bajante 510 EC1 y el desempolvamiento*	Molino tres	2 000 000			
Actividad	Zona	Personas	Horas	Total	Costo por actividad (₡)
Limpieza sobre tolvas del Molino	Tolvas molino tres	4	9	36	136 800
Limpieza en banda K91-BT3	K91BT3	4	9	36	136 800
Limpieza banda 535-BT1 y rótulas	535BT1	2	18	18	68 400
Limpieza banda 510-BT3	510BT3	4	9	36	136 800
Limpieza sobre techo molino tres	Techo	3	2	6	22 800
Limpieza 510-BT1	510BT1	3	7	21	79 800
Limpieza en techo de entrada	Techo túnel clínker	3	9	27	102 600
Limpieza en bandas de clínker	510BT1	3	9	27	102 600

Limpieza alimentadores del molino 3	Tolvas molino 3	3	9	27	102 600
Limpieza alimentadores del molino 3	Tolvas molino 3	3	9	27	102 600
Paso silo rechazos clínker	Rechazos clínker	1	9	9	34 200
Limpieza en elevador de clínker	510EC1	3	11	33	125 400
Limpieza en túnel de clínker	510BT1	3	9	27	102 600
Limpiezas y apoyo en el proceso	K91BT3	4	10	40	152 000
Limpieza fosa 510-EC1	510EC1	4	10	40	152 000
Limpieza 510-BT2	510BT2	4	10	40	152 000
Limpieza pasillo 510-BT1	510BT1	4	10	40	152 000
Limpieza de la 510-BT2	510BT2	4	10	40	152 000
Limpieza bajantes molino 3	Molino 3	1	12	12	45 600
Limpieza 563-EC1	563EC1	4	10	40	152 000
Total					4 030 000
<p>Nota: * La información de la reparación del bajante y desempolvamiento fue brindada por el ingeniero Geovanny Morún coordinador del Departamento de producción. Las actividades y los precios mostrados en este cuadro fueron brindados por el departamento de producción. Se debe considerar que la hora pagada en Holcim es de ₡3 800.</p>					

2.2 Faldones autoajustables para banda transportadora de clínker

En Holcim, todas las bandas transportadoras de la planta de cemento deben contar con faldones (figura 16), estos son hules flexibles que se colocan en la banda transportadora debajo del bajante de material. La finalidad principal de estos es lograr que cuando se realiza la descarga del material, las partículas no se salgan de la banda, evitando derrames de material en los bordes las bandas transportadoras, reduciendo la exposición ambiental y ocupacional a polvo fugitivo.

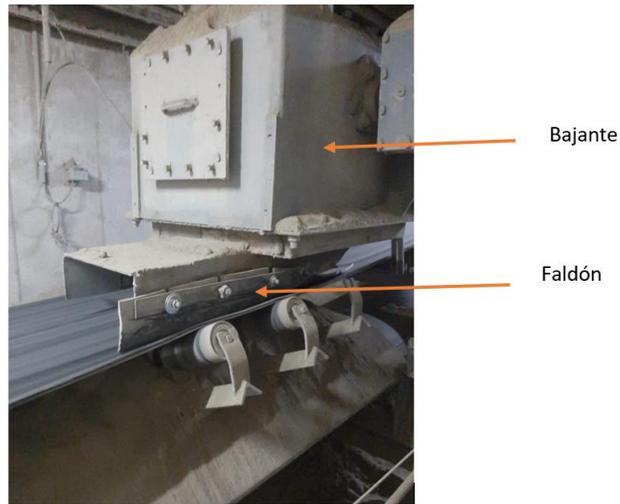


Figura 17. Bajante y faldón banda transportadora de clínker de cemento

Como se puede observar en la figura anterior, el faldón de esta banda transportadora se encuentra desalineado (observar el último tornillo). La desalineación de este faldón es producto a la ubicación actual de esta banda transportadora, la cual se encuentra inclinada. Cuando los faldones se encuentran desalineados estos no cumplen su principal función. Para este diseño, se propone el uso de faldones ajustables, ya que la inclinación de la banda transportadora de clínker no permitirá un ajuste adecuado del faldón utilizado actualmente en la planta de cemento.

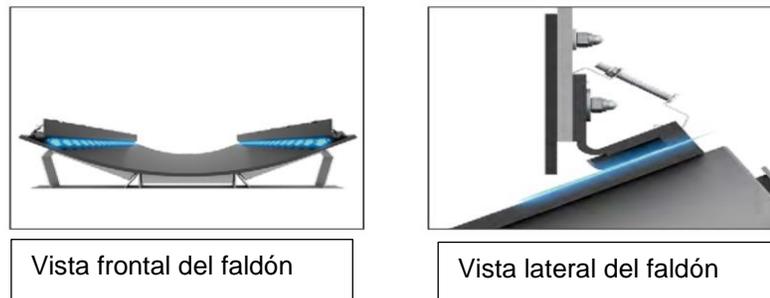


Figura 18. Faldón autoajustable marca AirScrape

Fuente: STSCRAPETEC (s.f.)

Este tipo de faldón es un nuevo diseño de fabricación alemana, que consiste en un faldón especial para cintas transportadoras. El AirScrape flota libremente sobre la banda, eliminando cualquier tipo de fricción y daños en la propia banda. Su matriz

única de cuchillas diagonales orientadas hacia dentro y fabricadas en acero antidesgaste o inoxidable, desvía las partículas más grandes hacia el interior, mientras usa el flujo de aire de la cinta transportadora y del material transportado para crear una succión hacia dentro (efecto Venturi), devolviendo cualquier resto de polvo y partículas finas al flujo principal de producto (STSCRAPETEC, s.f.). En el cuadro 14 se describen las principales características del faldón autoajustable propuesto para este diseño.

Cuadro 14. Características de los faldones autoajustables

Especificación	Descripción
Marca	AirScrape
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ● Funciona muy bien tanto con partículas finas como de mayor tamaño ● Reduce la emisión de polvo y los riesgos de explosión ● Elimina el riesgo de daños en la banda debido a la ausencia de contacto ● Las cuchillas en acero reducen el desgaste del faldón ● Reduce la necesidad de mayor potencia del motor ya que no hay fricción entre banda y faldón ● Prolonga enormemente la vida útil de la banda debido a la falta de contacto ● Reduce la pérdida de producto ● Reduce de forma significativa los costes de mantenimiento ● Fácil instalación
Instalación	El sistema AirScrape se instala utilizando espaciadores, haciendo flotar las cuchillas unos milímetros por encima de la banda y está unido al exterior de la caída mediante un simple sistema de pernos y tuercas. Se puede ajustar de forma longitudinal y lateral para seguir los contornos de los rodillos, así como el ángulo de las artesas existentes
Aplicaciones	Control de polvo
Representación	 <p style="text-align: center;">Fuente: STSCRAPETEC (s.f.)</p>
Dimensiones	Disponible en pares de piezas interconectables de 2 metros, lado izquierdo y lado derecho, para formar cualquier longitud requerida.

Costo control ingenieril 2

El costo asociado a los faldones autoajustables que se proponen para este control ingenieril puede observarse en el siguiente cuadro.

Cuadro 15. Costo de los faldones ajustables

Apartado	Costo en colones (₡)
Faldones ajustables	2 000 000
Nota: El precio de este control fue brindado por el ingeniero Rogelio Ulloa coordinador del área de proyectos de Holcim, este precio no incluye ningún costo asociado a impuestos y es una aproximación del costo real del faldón.	

2.3 Desatascamiento ductos filtros

En la zona del molino tres, como se mencionó anteriormente, se cuenta con una gran acumulación de material procedente de desbordamiento de material de las bandas transportadoras, lo que ha conllevado que dos de los filtros de esta zona se encuentren deshabilitados. En el molino tres lo que se transporta principalmente es cemento, el cual contiene yeso, aditivo que funciona como retardante para que el cemento no se ponga duro. Cuando el material acumulado se mantiene por mucho tiempo en superficies como techos, pisos, escaleras, pasillos y equipos, sumado al contacto con el agua proveniente de lluvias, hace que la función del yeso se pierda provocando así que el cemento se endurezca quedando en todas estas superficies. Una de las consecuencias que se han presentado por esta situación es atascamiento de los ductos de los sistemas de ventilación de los filtros.

La principal propuesta que se recomienda para esta zona es la limpieza de los codos de los filtros (figura 19) que se encuentran atascados de material, razón por la cual los filtros no están en funcionamiento. Para realizar este desatascamiento de estos ductos, se debe realizar una serie de actividades previas, ya que el acceso a los ductos del filtro se encuentra obstruido por material acumulado, por lo que se debe: 1 limpiar el piso del molino tres donde se ubica el ventilador de los filtros, 2 limpiar las

escaleras de acceso al techo donde se ubican los ductos y 3 limpieza del techo para poder realizar el trabajo de manera segura.



Figura 19. Ductos de los filtros del molino tres

Costos del control ingenieril

Como se mencionó anteriormente, para esta propuesta de diseño se deben realizar tres actividades previas, en el cuadro 15 se muestra el costo de esas actividades, así como el costo del desatascamiento de los ductos del filtro que es lo que se busca solución.

Cuadro 16. Costo del desatascamiento de filtros del molino 3

Actividad	Zona	Cantidad de personas	Horas	Total de horas	Costo por actividad (₡)
Limpeza sobre piso molino 3 y ventilador	Piso	3	16	36	172 800
Limpeza en techo de entrada	Techo por filtros	3	16	36	172 800
Recuperación escalera al techo	Molino 3	3	12	36	136 800
Desatascamiento filtros	Molino 3	3	8	24	86 400
Total					568 800

Nota: El costo por actividad se determinó considerando la información brindada por el departamento de producción. Se debe considerar que la hora del operador en Holcim es de 3800 colones.

Matriz de elección para el control ingenieril del molino tres

Para la elección del control ingenieril del molino tres, se toma en consideración los valores obtenidos en la matriz del cuadro 17.

Cuadro 17. Matriz de elección del control ingenieril del molino tres

Control	Criterios de evaluación						
	Ambiental	Proceso	Costo	Seguridad y Salud	Cultural	Reglamento	Valor
Reparación bajante 510EC1 y desempolvamiento	3	2	3	2	3	3	16
Faldones autoajustables	1	1	1	2	3	3	11
Desatascamiento de filtros	1	1	1	2	3	3	11

Como se puede observar en la matriz anterior, el control seleccionado es la reparación bajante y desempolvamiento. A continuación, se explica por qué este es el control elegido.

Cuadro 18. Explicación de selección del control ingenieril para el molino tres

Criterio	Explicación
Ambiental	Si se reparan las fugas presentes en el bajante esto producirá que no se escapen inmisiones de polvo fugitivo en toda el área del molino tres, el desempolvamiento permite que no se genere acumulación de material en la banda transportadora.
Proceso	En el caso de los tres controles seleccionados para esta zona, la única forma de que puedan ser implementados es deteniendo el molino tres para realizar las reparaciones correspondientes, lo único que diferencia a este control de los demás, es que una vez reparado el bajante y el desempolvamiento, las actividades que deben realizarse para completar este control no dependen de funcionamiento del molino, por lo que solo una parte de este control interferiría con el proceso productivo.

Costo	De los tres controles, este es el que presenta menor costo al realizar la intervención, ya que no se requiere de herramientas, ni equipos extras, solo se requiere de personal operativo para las reparaciones y limpiezas.
Salud y seguridad	La reparación del bajante y desempolvamiento mejoraría en un alto porcentaje las condiciones ambientales de la zona del molino tres, no se generaría acumulación de material, por lo tanto, no existe posibilidad de caídas, material particulado abundante en el aire, no se presentaría acumulación en estructuras como escaleras, pasillos, techos, barandas, se disminuirían los mantenimientos relacionados a limpiezas y reparación de equipos afectados por el polvo.
Cultural	El realizar estas reparaciones y las limpiezas propuestas en este control, permitirá aumentar la cultura de seguridad y salud de los colaboradores, porque se visibilizará la importancia de mantener estos elementos en buenas condiciones para evitar la acumulación de material que conduce a exposiciones ocupacional de sílice cristalina y material particulado respirable
Reglamento	Este control cumple con el artículo 14 del Reglamento de la prevención de la silicosis en los centros de trabajo, que dice que en las operaciones permanentes que desprendan polvo de Sílice cristalina, la persona empleadora debe implementar controles de ingeniería, ya sea en la fuente, el medio o el receptor, así como prácticas de trabajo seguras (CSO, 2016).

3. CEPAL

El Centro de Paletizado (CEPAL), es la parte de la planta de cemento que se encarga del llenado, empacado y almacenamiento del cemento en Holcim. En la siguiente figura se muestra el diagrama de proceso de llevado a cabo en CEPAL para llenar sacos de cemento en bolsa.

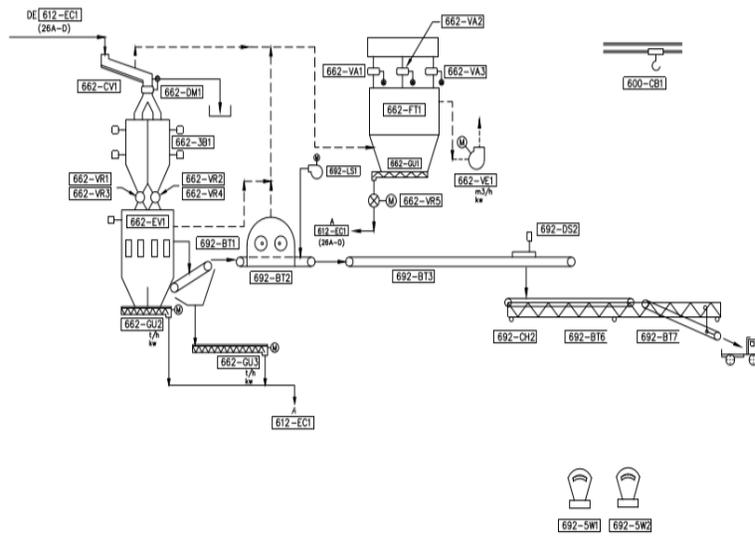


Figura 20. Llenado de sacos en bolsa en CEPAL

Sumado al proceso de llenado de sacos de cemento en bolsa, se vende cemento a granel. En la figura 20 se observa el proceso productivo del llenado de camiones a granel en CEPAL.

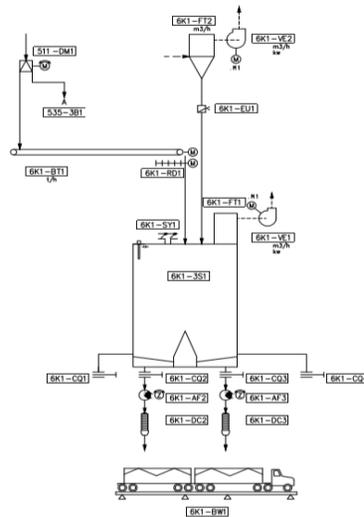


Figura 21. Llenado de camiones a granel

El área de CEPAL, actualmente es una de las zonas más críticas para la organización esto es debido a las tareas que se realizan diariamente, dentro de las cuales se pueden mencionar: el llenado de los sacos de cemento en bolsa y a granel,

el transporte de los mismos mediante montacargas, limpiezas del área en caso de ruptura de los sacos de cemento, mantenimiento y reparación de los equipos eléctricos y mecánicos ubicados en esta zona.

3.1 Barredora industrial

Una de las tareas más críticas realizadas en el área de CEPAL es la limpieza del área, que debe realizarse por:

- Mantener el orden y aseo de la zona.
- Ruptura de los sacos de cemento producto de una mala manipulación del montacargas.
- Acumulación de material debido al transporte de los sacos en la banda transportadora y montacargas.
- Rechazos de material.

La técnica actual de limpieza es mediante escobas, cuando el operador realiza la limpieza la cantidad de polvo que se desprende es lo suficientemente grande para ser percibido por cualquier persona que transite por la zona de CEPAL al momento de realizar la limpieza, aumentando con esto el riesgo de exposición a polvo fugitivo. Para reducir la cantidad de polvo cuando se realiza la limpieza, se propone como control ingenieril la compra de una barredora industrial para el área de CEPAL, que cuente con sistema de aspiración para la recolección de polvo y una cabina para reducir la exposición del colaborador.

Seguidamente en el cuadro 19, se describen las características de la barredora que se propone para llevar a cabo este control.

Cuadro 19. Características barredora industrial

Especificación	Descripción
Marca	Eureka
Modelo	BULL200
Ventajas	<ul style="list-style-type: none">● Los cepillos laterales de BULL200 pueden equiparse opcionalmente

	<p>con nebulizadores para reducir el polvo</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Filtro antiestático, lavable con sistema automático de limpieza con un motor sacudidor. Para un filtrado elevado y constante a lo largo del tiempo ● La seguridad y el confort en la conducción aumentan con la cabina presurizada con aire acondicionado ● Cepillos especiales con cerdas mixtas dispuestas en forma de cúspide para recoger diferentes tipos de suciedad en una sola pasada ● Realiza aspiración ● Le permite gestionar tanto el polvo más fino como los residuos pesados y voluminosos. ● El cajón, con elevación hidráulica posterior, es completamente de acero y tiene una capacidad real de 500 L ● Tiene ruedas que permiten desplazarse en cualquier superficie y altura
Aplicaciones	Control de polvo
Representación	 <p>Fuente: Eureka.(2021)</p>
Especificaciones técnicas	<ul style="list-style-type: none"> ● Velocidad de avance 2.100 mm ● Capacidad del contenedor 500 L ● Velocidad de avance 14.2 km/h ● Productividad horaria 29.820 m²/h ● Tipo de filtro Multipocket® / 13 m² ● Mando tracción hidráulico ● MotorDiésel Kubota, 1.500 cm³, de 4 cilindros / 36 hp de potencia ● Peso (sin carga/plena carga)2.090 kg ● Dimensiones con cepillos laterales (l x a x a)2.755 x 2.080 x 2.050 mm ● Dimensiones sin cepillos laterales (l x a x a)2.635 x 1.750 x 2.050 mm

Costo del control ingenieril 1

Para conocer el precio de este control ingenieril se consultó al proveedor Eureka, el cual es una empresa transnacional que se encarga de la venta de barredoras, aspiradoras y demás implementos para limpieza, pero no se recibió respuesta del proveedor; por lo que se consultaron a colaboradores del área de mecánica automotriz de la planta de cemento, quienes mencionaron que la barredora puede tener un precio

aproximado de 60 millones de colones, este precio no incluye I.V.A., ni ningún otro impuesto relacionado con la importación del equipo porque la empresa está exonerada de impuestos. Es importante mencionar que en caso de seleccionarse esta propuesta se tendrá que conformar el precio real con el proveedor.

3.2 Sistema de sellado por ultrasonido para sacos de cemento

El sistema de sellado de los sacos de cemento de Holcim se realiza mediante presión de material, conllevando que este sello no sea totalmente hermético, por lo que, la exposición de polvo es continua en toda la línea del proceso. Para la propuesta de control de polvo fugitivo, específicamente en la tarea de sellado de sacos, se propone utilizar un sistema de sellado por ultrasonido.

En Holcim el llenado de sacos se realiza mediante una ensacadora de marca HAVER. Esta marca ha optimizado sus ensacadoras e implementado sistemas de sellado por ultrasonido, que se acoplan a las ensacadoras, los cuales evitan el escape incontrolado de producto por la válvula llenadora del saco. El funcionamiento general de este sistema es que el saco lleno se desplace erguido hasta el punto donde se encuentran unos cilindros neumáticos que realizan el sellado (HAVER & BOECKER, 2021)

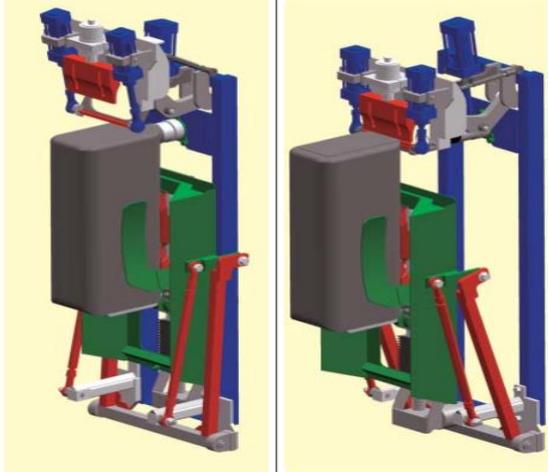


Figura 22. Sellado de los sacos mediante sistema de ultrasonido

Fuente: HAVER & BOECKER, 2021

En el siguiente cuadro, se describen ciertas características importantes del sistema de llenado por ultrasonido.

Cuadro 20. Especificaciones sistema de llenado por ultrasonido

Especificación	Descripción
Marca	HAVER & BOECKER
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ● Presencia de producto en el interior de la válvula ● Efecto de auto limpieza en la zona del sellado de este sistema ● Ciclos cortos y gran rendimiento horario ● Capacidad para sellar todos los tamaños de válvula usuales ● Calentamiento exclusivamente en la zona de sellado ● Control de la posición de la válvula previa a la activación del generador de ultrasonido ● Tecnología segura y de escaso mantenimiento
Instalación	El sistema AirScrape se instala utilizando espaciadores, haciendo flotar las cuchillas unos milímetros por encima de la banda y está unido al exterior de la caída mediante un simple sistema de pernos y tuercas. Se puede ajustar de forma longitudinal y lateral para seguir los contornos de los rodillos, así como el ángulo de las artesas existentes
Aplicaciones	Control de polvo
Representación	 <p style="text-align: center;">Fuente: HAVER & BOECKER</p>

Costo del control ingenieril 2

Para el precio del control ingenieril se consulta al proveedor HAVER & BOECKER, no se recibió respuesta del proveedor por lo que se consulta al Ingeniero Rogelio Ulloa

del área de ingeniería de proyectos de la planta de cemento y menciona que este sellado ultrasónico puede rondar el un millón de dólares, este precio no incluye I.V.A, ni ningún otro impuesto relacionado con la importación del equipo.

3.3 Encerramiento área de ensacadora y paletizadora

En el área de CEPAL, la zona que presenta la mayor cantidad de presencia de polvo fugitivo, sílice cristalina y material particulado respirable es el área de la ensacadora, hace unos años se llevó a cabo el encerramiento de la ensacadora para que se redujera la exposición de polvo, pero a pesar de esto, los niveles de exposición de sílice cristalina y material particulado respirable son altos.



Figura 23. Línea de producción CEPAL

Fuente: HAVER & BOECKER, (s.f)

Una vez que los sacos son llenados en la ensacadora, estos son enviados por una banda transportadora que cuenta con una pesadora, para el caso de Costa Rica deben pesar 50 kg y para Nicaragua 45 kg, cuando los sacos no cumplen estos pesos la misma banda tiene un sistema de selección, que separa los sacos cerrados que no cumplen para ser enviados a reprocesos, cayendo a una tolva que se encuentra a una altura aproximada de dos metros.

Aquellos sacos que cumplen con el peso continúan con el proceso hacia una fechadora, la cual les coloca la fecha de vencimiento del saco, posteriormente siguen el proceso hasta un equipo llamado paletizadora, que su función es entarimar los sacos de cemento, en el caso de Holcim se entariman 40 sacos que equivalen a dos toneladas por tarima. Una vez listos los sacos en tarimas, el montacarguista coloca las

uñas del montacargas y traslada el material para ser almacenado, tal y como se muestra en la siguiente figura.



Figura 24. Transporte de sacos de cemento por montacargas

Todo el proceso que se lleva a cabo en esta línea es sumamente polvoso; por lo tanto, como propuesta de solución para este problema se recomienda crear un cerramiento en toda la línea de producción de manera tal que se genere una contención de la cantidad de polvo en toda el área, este cerramiento deberá ir acompañado de un sistema de ventilación de extracción localizada, para que al momento que se deba entrar a realizar alguna inspección el trabajador no se vea sobreexpuesto.

Costo de control ingenieril

Para el caso de este control, se consultó al ingeniero Rogelio Ulloa coordinador del área de proyectos, quien mencionó que este control puede valorarse en muchos millones de colones, pero no pudo brindarme un precio aproximado, ya que es un proyecto que implicaría modificación estructural del área de CEPAL.

Matriz de elección para el control ingenieril de CEPAL

La matriz del cuadro 21 representa los valores numéricos asignados a cada control ingenieril propuesto para el área de CEPAL.

Cuadro 21. Matriz de elección del control ingenieril de CEPAL

Control	Criterios de evaluación						
	Ambiental	Proceso	Costo	Seguridad y Salud	Cultural	Reglamento	Valor
Barredora industrial	3	3	3	2	3	3	17
Sistema de sellado por ultrasonido	3	1	1	3	2	3	13
Encerramiento área de ensacadora y paletizadora	3	1	1	3	2	3	26

Como se puede observar en la matriz anterior, el control seleccionado es la compra de una barredora industrial por obtener el valor más alto al momento de realizar la suma de cada uno de los criterios de evaluación aplicados, en el cuadro 22 se observa la explicación de la selección de este control.

Cuadro 22. Explicación de selección del control ingenieril para CEPAL

Criterio	Explicación
Ambiental	A nivel ambiental, el realizar el proceso de limpieza con estos equipos produciría que las inmisiones de polvo disminuyan en gran medida, porque se eliminaría el desplazamiento a largas distancias del material particulado.
Proceso	El implementar este control no interfiere con el proceso productivo de la organización, ya que el área de CEPAL cuenta con planes de limpieza y mantenimiento, por lo que el uso de la barredora no debería afectar en lo absoluto la línea del proceso.
Costo	En comparación con las otras dos propuestas de control ingenieril, esta es la que presenta el costo más bajo, ya que implementar el sellado ultrasónico y el encerramiento en la ensacadora son gastos de millones de dólares que además de ser más caras, requieren mayor intervención en la modificación de las condiciones del área de CEPAL.
Salud y seguridad	Comparado con los otros controles, este presenta beneficios a nivel medio en temas de seguridad y salud, porque a pesar de que se implemente la barredora, el operario va a seguir expuesto, de ahí la importancia de que este control se acompañe con el uso de equipo de protección personal.
Cultural	La compra de la barredora, implicaría que el colaborador utilice un equipo que le va a permitir limpiar el área donde trabaja mejorando sus condiciones ambientales y ocupacionales, aumentándose la cultura de seguridad y salud

	porque el colaborador es consciente de que la organización está velando por su integridad.
Reglamento	Este control cumple con el artículo 14 del Reglamento de la prevención de la silicosis en los centros de trabajo, que dice que en las operaciones permanentes que desprendan polvo de Sílice cristalina, la persona empleadora debe implementar controles de ingeniería, ya sea en la fuente, el medio o el receptor, así como prácticas de trabajo seguras (CSO, 2016).

B. Controles administrativos

En esta sección se describen los controles administrativos propuestos para el programa de control de polvo fugitivo. En la primera parte se describen tres formularios de verificación que están relacionados con los controles ingenieriles seleccionados anteriormente, por lo que en el siguiente cuadro se menciona el nombre del control ingenieril seleccionado y el formulario de verificación que tiene relacionado.

Cuadro 23. Formularios de verificación de los controles ingenieriles

Área	Control ingenieril seleccionado	Código y nombre del formulario
Quebrador primario	Cambio del material de la tela del filtro 211 FT1, revisión y reparación del colector de polvo	F-PCPF-3 Control quebrador primario: cambio del material de la tela del filtro 211 FT1, revisión y reparación del colector de polvo
Molino tres	Reparación bajante 510EC1 y desempolvamiento	F-PCPF-4 Control molino tres; reparación bajante 510 EC1 y desempolvamiento
CEPAL	Barredora industrial	F-PCPF-5 Control de CEPAL barredora industrial

La finalidad principal de los formularios anteriores, es poder darle seguimiento al estado actual de los controles ingenieriles seleccionados para el área del quebrador primario, molino tres y CEPAL. La verificación se deben realizar por el personal operativo del Departamento Preventivo, los cuales deben incluirlos en sus rutinas de VOSOS (mantenimientos preventivos realizados por la organización). Es importante mencionar que estos formularios no están asociados directamente a un procedimiento creado en este programa, ya que deberán integrarse en los planes de mantenimiento preventivo de la organización.

	Formulario F-PCPF-4		Fecha	30/11/2021
	Control quebrador primario: cambio del material de la tela del filtro 211 FT1, revisión y reparación del colector de polvo		Versión	N° 1
			Página	1 de 1
Realizado por: Karina Román Solano		Fecha:		
Revisado por: Silena Oviedo Mora		Responsable:		
Aspecto por verificar	Cumple	No cumple	Observación	
El estado de la tela de las mangas del filtro se encuentra sin huecos, daños, rasgaduras				
Las partes o componentes mecánicos del ventilador del filtro se encuentra en buenas condiciones				
Las partes o componentes eléctricos del ventilador del filtro se encuentra en buenas condiciones				
La carcasa del filtro se encuentra sin huecos, fugas				
El bajante del filtro no presenta desgaste, huecos, fugas				
La válvula de descarga no presenta acumulación de material				
La válvula de descarga no presenta daños mecánicos				
El estado eléctrico del motor de la válvula se encuentra en buenas condiciones				
El estado mecánico del motor de la válvula se encuentra en buenas condiciones				
Nota: Esta revisión debe realizarse según las rutinas de mantenimiento preventivo establecidas.				

	Formulario F-PCPF-5		Fecha	30/11/2021
	Control molino tres; reparación bajante 510 EC1 y desempolvamiento		Versión	N° 1
			Página	1 de 1
Realizado por: Karina Román Solano		Fecha:		
Revisado por: Silena Oviedo Mora		Responsable:		
Aspecto por verificar	Cumple	No cumple	Observación	
El bajante del filtro no presenta desgaste, huecos, fugas				
La compuerta del desempolvamiento cierra correctamente				
El desempolvamiento no presenta daños físicos, huecos, desgaste				
El desempolvamiento no presenta daños físicos, huecos, desgaste				
No existe acumulación de material en los alrededores de la banda transportadora y en el cajón del desempolvamiento				
Nota: Esta revisión debe realizarse según las rutinas de mantenimiento preventivo establecidas.				

	Formulario F-CPF-6		Fecha	30/11/2021
	Control CEPAL: barredora industrial		Versión	N° 1
			Página	1 de 2
Realizado por: Karina Román Solano		Fecha:		
Revisado por: Silena Oviedo Mora		Responsable:		
Revisión diaria				
Aspecto por verificar	Cumple	No cumple	Procedimiento por realizar en caso de no cumplir	Observaciones
Condición del filtro de aire del motor			Vaciar el capuchón antipolvo	
Los niveles de agua y aceites (hidráulico y motor) se encuentran dentro de los parámetros normales			Controlar el nivel de aceite y agua	
El estado físico de los cepillos está en buenas condiciones			Controlar el deterioro, desgaste y ajustar los cepillos	
Filtro de polvo de la caja colectora con espacio para almacenar material recolectado			Sacudir y vaciar	
Las llantas se encuentran libres de deformación y con la presión correcta			Cambio en caso de desgaste, verificar la presión de aire	
Estado físico de la cabina			No operar, en caso de encontrarse dañada la cabina	
Las mangueras (aceite, agua, combustible) se encuentran en buen estado (no presencia de fugas)			Reparar fugas, desgastes	
El equipo está libre de fugas y derrame			Reparar fugas, desgastes	

El equipo cuenta con espejos laterales			Sustitución de luces	
El equipo cuenta con extintor vigente, accesible y en buen estado			Si el extintor está vencido se debe sacar de servicio y reemplazarlo	
El sistema de luces funciona adecuadamente (direccionales)			Reparación de luces	
El cinturón de seguridad se encuentra en buen estado			Reemplazo del cinturón	

Sumado a los formularios de verificación mencionados anteriormente es de suma importancia que la organización cuente con un procedimiento sobre de las buenas prácticas que deben emplearse a la hora de hacer uso del equipo de protección personal respiratoria (EPR), ya que a pesar de todos los controles ingenieriles y administrativos con los que cuenta la organización y los propuestos en este programa de control de polvo fugitivo, la exposición de sílice cristalina y material particulado respirable, no se puede eliminar en un 100 %, por lo que, con ayuda del equipo de protección personal respiratoria se aumenta la protección del trabajador expuesto, siempre y cuando el EPR sea utilizado según lo mencionado en el siguiente procedimiento.

	Procedimiento P-PCFG-1 Uso, almacenamiento, inspección, mantenimiento limpieza, pruebas de ajuste y cambio de los filtros del equipo de protección respiratoria	Fecha	21/11/2021
		Versión	Nº1
		Página	1 de 10
Realizado por: Karina Román Solano Revisado por: Silena Oviedo Mora			

1. Propósito

Describir las actividades que debe realizar el personal cuando vaya a hacer uso, almacenamiento, mantenimiento y limpieza de su equipo de protección respiratoria (EPR)

2. Alcance

Esta instrucción debe ser acatada por cualquier persona (personal propio, contratista) que deba realizar trabajos dentro de Holcim Costa Rica y deba hacer uso del equipo de protección respiratoria

3. Documentos relacionados

- Programa de protección respiratoria
- Reglamento para la prevención de la silicosis en los centros de trabajo

4. Responsabilidades

- Gerentes del área

Deben velar porque los colaboradores cumplan con todo lo mencionado y descrito en este procedimiento con el objetivo de proteger la salud y seguridad de todos los trabajadores de la organización que se encuentren ocupacionalmente expuestos a sílice cristalina y material particulado respirable.

- Departamento de H&S

Asegurarse que toda la organización tenga el conocimiento de este procedimiento, así como brindar la información necesaria a los colaboradores sobre la importancia del Uso, almacenamiento, inspección, mantenimiento y limpieza del equipo de protección respiratoria.

- Personal ocupacionalmente expuesto

El personal expuesto tiene la responsabilidad de hacer uso de equipo de protección personal respiratoria y acatar todas las medidas implementadas en este procedimiento.

5. Aspectos generales del equipo de protección respiratoria

- Partes del EPR

Para el uso correcto del equipo de protección respiratoria se deben conocer las partes que lo conforman, por lo que en la figura 1 se muestra las partes del EPR.



Filtros 2097, con carbón activado

Válvula de inhalación

Válvula de exhalación

Soporte de filtros

Arnés

Figura 1. Partes del equipo de protección respiratoria

- Selección del respirador

La selección del tipo de respirador y los filtros son responsabilidad del departamento de H&S, el cual ha realizado una identificación y evaluación de riesgos previa a la selección. El tipo de respirador va a depender de las propiedades físicas y químicas de los contaminantes del aire y el nivel de concentración al que pueda estar expuesto el trabajador.

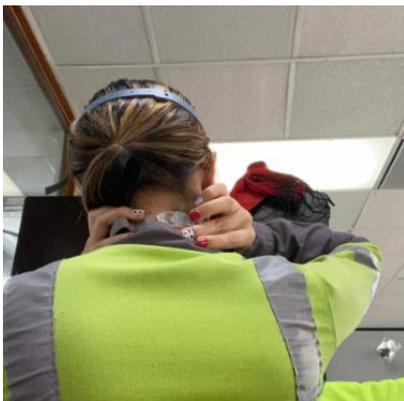
- Pasos para colocarse el equipo de protección respiratoria (EPR)



Paso 1. Como primer paso debe contar el EPR totalmente armado. Seguidamente coloque la corona del arnés del EPR en su cabeza, tal y como se muestra en la figura de la izquierda.



Paso 2. Con ayuda de sus manos ajuste y sujete el cuerpo del arnés y deslice la pieza facial sobre su cara



Paso 3. Abroche las correas inferiores detrás de su cuello



Paso 4. Una vez que se haya asegurado de que el EPR se ajusta a su cara, proceda con los pasos de verificación de ajuste de presión positiva y negativa, que debe ser realizada por usted mismo



Paso 5. Prueba de presión positiva:

Coloque la palma de la mano abierta sobre la salida de la válvula de exhalación y exhale suavemente.

Si el aire se escapa entre la cara y la pieza facial del respirador, vuelva a colocarlo y ajuste las correas para lograr un mejor ajuste. *

*Si a pesar de esto no logra un correcto ajuste, por favor consulte con el departamento de H&S y no ingrese al área de contaminación



Paso 6. Prueba de ajuste de presión negativa

Usando Filtros para Partículas

Coloque sus manos en la parte central de los filtros, restringiendo el paso del aire e inhale suavemente.

Si el aire se escapa entre la cara y la pieza facial del respirador, vuelva a colocarlo y ajuste las correas para lograr un mejor ajuste.*

Figura 1. Pasos para colocarse el equipo de protección respiratoria (EPR)

- Consideraciones previas antes del uso de EPR
 - Durante las limpiezas mayores, donde existe alta exposición de polvo fugitivo, por ejemplo, limpiezas de silos, intervenciones en el enfriador, horno y en el filtro 421 FT1, el colaborador debe hacer uso de respirador cara completa (*Full Face*).
 - Durante la época lluviosa utilizar el filtro 7093, debido a que el 2097 pierde efectividad al contacto con agua.
 - El filtro de uso general seleccionado para la planta es el 2097, considerando que este tipo además de proteger contra material particulado protege contra olores molestos por su capa de carbón activado. Es decir, no es necesario que los colaboradores cambien sus

filtros ante la presencia de soldadura y/o el olor desprendido por combustibles sólidos.

6. Uso de los respiradores en campo

- Todos los colaboradores deben tener en cuenta que los respiradores de medio rostro o rostro completo no deben ser utilizados si el trabajador posee barba u otro vello facial, ya que esto impedirá que exista un contacto directo entre la cara y el respirador interfiriendo con la función de la válvula.
- En caso de que el colaborador detecte los siguientes puntos debe salir del área contaminada o de exposición y verificar las condiciones físicas de su EPR:
 - Al detectar fugas de contaminantes dentro del respirador
 - Si nota una mayor resistencia respiratoria
 - Si detecta una gran incomodidad al usar el respirador
 - Si al realizar el ajuste del respirador este no se acopla bien a su cara.
- Debe ser utilizado el EPR en todas las áreas señalizadas en la planta de cemento donde la presencia de material particulado puede presentar un problema para su salud.
- Los respiradores reutilizables NO pueden ser compartidos entre trabajadores, cada uno contará con su propio respirador.
- Todos los colaboradores deben realizar las pruebas de ajuste de presión positiva y negativa de su respirador antes de cada uso.
- Utilizar el respirador del tamaño correcto de cada colaborador.
- Revisar que las tiras del arnés estén rectas (no vueltas) antes de colocárselo.
- Revisar que el arnés, pieza facial y válvulas estén en buen estado antes de utilizarlo.
- No colocar el arnés del respirador sobre el casco.

7. Almacenamiento de los respiradores

En el caso de los respiradores reutilizables usados en planta de cemento, deben ser almacenados en:

- Lugares protegidos de luz solar, polvo, calor, frío, humedad y productos químicos que por sus propiedades físico-químicas dañen las condiciones físicas del respirador.
- Deben almacenarse en un lugar que evite deformaciones de la pieza facial y de la válvula de exhalación.
- Guardar los filtros en una bolsa aparte de la pieza facial, para esto a cada colaborador durante la prueba de ajuste se le entrega una bolsa para el almacenamiento correcto del equipo, por el contrario, si no se le brinda una bolsa conserve la bolsa en que le entregan en el almacén cada vez que retira un par de filtros o la pieza facial

8. Inspección y mantenimiento de los respiradores

- El respirador debe inspeccionarse todos los días antes de su uso, siguiendo los siguientes pasos
 - Verifique que cuente con los dos filtros a los lados del soporte para filtros
 - Verifique que las cuerdas de ajuste no se encuentren rotas
 - Verifique que cuenta con las válvulas de inhalación y exhalación
 - Verifique que todo el arnés este en óptimas condiciones
 - Verifique que los filtros no estén rotos, no tengan huecos y no estén deshilachados
- El uso de respiradores defectuosos no está permitido. Si se encuentra un respirador defectuoso durante la inspección, debe entregarse al almacén para ser desechado.

9. Limpieza del EPR

Pasos por seguir para realizar la limpieza del EPR:

- Retire los cartuchos, filtros, arneses y válvulas.
- Limpiar la pieza facial sumergiéndola en agua que no exceda los 49 °C y frota con un cepillo suave.
- No usar limpiadores que contengan solventes, lanolina, u otros aceites.
- Enjuaga con agua tibia y limpia dejando secar al aire en una atmósfera limpia.
- No limpiar con solventes ya que estos pueden degradar el respirador y reducir la eficiencia de este.

10. Pruebas de ajuste

Adicional a las pruebas realizadas diariamente, se deben realizar pruebas cualitativas. Estas pruebas de ajuste se deben realizar según lo estipulado por la OSHA 1910.134 (f): "El empresario deberá asegurarse que el empleado que usa una careta hermética de respiración tenga una prueba de ajuste antes del uso inicial del respirador, cuando se use una nueva careta de respiración (tamaño, estilo, modelo o marca), y después una vez al año por lo menos."

De manera general, una "prueba de ajuste" controla el sellado entre la máscara del respirador y su cara. Lleva aproximadamente entre 15 y 20 minutos, y debe realizarse al menos una vez al año (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional, 2021), las pruebas de ajuste cualitativa son de tipo aprobación o desaprobación y depende de los sentidos del usuario utilizando uno de los cuatro agentes de prueba aceptados por OSHA:

- Acetato de isoamilo (olor a plátano); solo para probar respiradores con cartuchos para vapores orgánicos.
- Sacarina (sabor dulce); puede usarse para probar respiradores con un filtro de partículas de cualquier clase.
- Bitrex® (sabor amargo); también puede usarse para probar respiradores con filtros de partículas de cualquier clase.
- Humo irritante (reflejo involuntario de la tos); solo se usa para probar respiradores con filtros de partículas de nivel 100.

Cada método de prueba de ajuste cualitativa se compone de siete ejercicios que realizan durante un minuto cada uno:

- Respiración normal.
- Respiración profunda.
- Mover la cabeza de lado a lado.
- Mover la cabeza hacia arriba y hacia abajo.
- Inclinarsse (o trotar en el mismo lugar si la unidad de prueba de ajuste no permite doblarse desde la cintura).
- Hablar
- Respiración normal, nuevamente

Es importante que la organización sea sumamente rigurosa con la realización de las pruebas de ajuste, ya que estas asegurarán que el factor de protección del equipo de protección respiratoria cumpla su función.

7. Cambio de los filtros

Para el caso de Holcim, el cambio de los filtros debe ser siguiendo los siguientes criterios:

- Cuando se percibe el olor o un leve sabor del contaminante presente.
- Cuando se dificulta la respiración normal y es necesario efectuar un esfuerzo adicional.
- Cuando los filtros se encuentren en mal estado físico.

VI. Cumplimiento legal

Debido a las actividades que se llevan a cabo en el proceso productivo de Holcim, la generación de polvo fugitivo no puede evitarse, por lo que, para contar con los permisos de funcionamiento, la organización debe cumplir con una serie de requisitos legales relacionados directamente con la exposición de polvo fugitivo.

A continuación, en el cuadro 24 se describen las normativas, reglamento y leyes con los que debería cumplir Holcim para asegurar que en sus instalaciones se está reduciendo las inmisiones de polvo fugitivo.

Cuadro 24. Normativas, reglamentos y leyes con las que deben cumplir Holcim Costa Rica relacionados con la exposición a polvo fugitivo

Requisito legal	Artículo específico
Código de Trabajo de Costa Rica	ARTÍCULO 282 – El patrono tiene la obligación de adoptar en los lugares de trabajo las medidas para garantizar la salud ocupacional de los trabajadores, conforme a los términos de este código, su reglamento, los reglamentos de salud ocupacional que se promulguen y las recomendaciones que en esta materia formulen tanto el Consejo de Salud Ocupacional, como las autoridades de inspección del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, Ministerio de Salud e Instituto Nacional de Seguros
Reglamento General de Seguridad e Higiene de Trabajo (N° 11429)	ARTÍCULO 3° - Todo patrono o su representante, intermediario o contratista, debe adoptar y poner en práctica en los centros de trabajo, por su exclusiva cuenta, medidas de seguridad e higiene adecuadas para proteger la vida, la salud, la integridad corporal y moral de los trabajadores. ARTÍCULO 4°- Son también obligaciones del patrono: a) Mantener en buen estado de conservación, funcionamiento y uso, la maquinaria, las instalaciones y las herramientas de trabajo; b) Promover la capacitación de su personal en materia de seguridad e higiene en el trabajo; y c) Permitir a las autoridades competentes la colocación, en los centros de trabajo, de textos legales, avisos, carteles y anuncios similares, atinentes a la seguridad e higiene en el trabajo.
Reglamento para la prevención de la silicosis en los centros de trabajo (N° 39612S-MTSS)	Aplica a todos los apartados de este reglamento, ya que es el más restrictivo que se tiene en cuenta a control de sílice cristalina en los centros de trabajo.

El no cumplir con las normativas, reglamentos y leyes mencionados en el cuadro 24 afectará el cumplimiento de los objetivos de este programa de control de polvo fugitivo, que lo que busca es reducir la exposición de los trabajadores a sílice cristalina y material particulado respirable , ya que como se establece en el código de trabajo en el artículo 282 el patrono, el Reglamento General de Seguridad e Higiene de Trabajo (N° 11429) artículos 3 y 4 y Reglamento para la prevención de la silicosis en los centros de trabajo (N° 39612S-MTSS), Holcim tiene que proporcionar en su organización las medidas para garantizar la salud y seguridad de todos sus colaboradores.

VII. Capacitación y formación

La capacitación sobre polvo fugitivo será realizada en la Escuela de Capacitación de H&S de la planta de cemento. La población meta serán los operadores y los supervisores que se encuentran expuestos a polvo fugitivo. Serán de asistencia obligatoria y los supervisores de cada área serán los responsables de coordinar con la Escuela de Capacitación, las fechas y horas en que deberá ir el personal a capacitación. A continuación, se describe información importante relacionada con la capacitación que se propone para este programa.

- Propósito

Con esta capacitación se busca que los colaboradores sean capaces de entender el concepto de polvo fugitivo, donde se puede encontrar en nuestras instalaciones y como identificarlo, conocer y comprender los principales peligros para la salud y seguridad que puede provocar la exposición a este agente, además la importancia de las evaluaciones a polvo fugitivo y la participación en los muestreos ocupacionales.

- Alcance

El alcance de esta capacitación es para operadores y supervisores quienes se encuentran expuestos a polvo fugitivo, aproximadamente se capacitarán a 81 personas, esto según la información brindada por la analista de H&S de la planta de cemento.

- Recursos

Para llevar a cabo la capacitación se requieren los siguientes recursos:

- Humano: se requiere de la participación de los colaboradores ocupacionalmente expuestos a polvo fugitivo, así como el apoyo de las altas gerencias para la participación de estos en la capacitación.

- Tiempo: se requiere de un tiempo de tres horas completar la capacitación y la evaluación de conocimientos adquiridos.
- Económicos: el costo de la capacitación dependerá de la cantidad de personas que reciban la capacitación, en el siguiente cuadro se presenta los precios brindados por la Escuela de Capacitación.

Cuadro 25. Costos por persona al recibir la capacitación de polvo fugitivo

Curso	Costo por persona (₡)			
	1 persona	2 personas	3 o 4 personas	5 o más personas
Polvo fugitivo	30 000	40 000	20 000	10 000
Nota: Este precio incluye el 2 % de I.V.A.				

El precio mostrado en el cuadro anterior dependerá de la como se distribuyan las 81 personas a capacitar. Tomando en cuenta que se realicen grupos de más de cinco personas el precio sería de 810 000 colones, de no ser así el precio aumentará dependiendo de la cantidad de personas por grupo a capacitar.

- Responsabilidades
 - Altas gerencias (coordinadores de cada departamento)
 - Coordinar con sus colaboradores las fechas y horas de participación en la capacitación de polvo fugitivo
 - Departamento de H&S
 - Proporcionar a la Escuela de Capacitación toda la información necesaria para que puedan llevar a cabo la capacitación.
 - Escuela de Capacitación
 - Compartir toda la información brindada por el Departamento de H&S a los colaboradores que participan en la capacitación, incluir esta capacitación el cronograma de entrenamiento de la Escuela de

Capacitación, además efectuar la evaluación de conocimientos adquiridos una vez finalizada la capacitación.

- Colaboradores

Participar activamente de la capacitación, así como la evaluación de conocimientos adquiridos cuando finalice la capacitación.

A continuación, se describen una planificación detallada de la capacitación de polvo fugitivo que deberá impartir la Escuela de Capacitación.

Cuadro 26. Planificación de los temas que contiene la capacitación del programa de polvo fugitivo

Tema	Objetivo	Contenido	Duración (minutos)	Responsable	Fecha
¿Qué es polvo fugitivo?	Comprender la definición de polvo fugitivo	Concepto de polvo fugitivo	15	Escuela de Capacitación	Dependerá de los cronogramas de cada uno de los departamentos de la planta. Los coordinadores de cada área deberán verificar la disponibilidad de horas y fechas propuestas por la Escuela de Capacitación en el Cronograma de entrenamiento
¿Dónde puedo encontrar polvo fugitivo en nuestras instalaciones?	Identificar las principales fuentes de polvo fugitivo	Proceso productivo de la empresa y fuentes de polvo fugitivo	15		
Peligros para la salud y seguridad provocados por el polvo fugitivo	Identificar los principales peligros para la seguridad y salud provocados por polvo fugitivo	Peligros para la seguridad y salud	15		
¿Por qué las evaluaciones de polvo fugitivo?	Comprender la importancia de las evaluaciones de polvo fugitivo	Evaluaciones de polvo fugitivo	30		
Sílice cristalina y material particulado respirable	Comprender los conceptos de sílice cristalina y material particulado respirable	Sílice cristalina y material particulado respirable	30		
¿Por qué debo participar en	Entender porque debo	Muestreos ocupacionales	30		

los muestreos ocupacionales anuales?	participar en los muestreos ocupacionales	a sílice cristalina y material particulado respirable			
Evaluación de conocimientos	Aplicar los conocimientos aprendidos	Evaluación de conocimientos adquiridos	45		

Seguidamente, se adjunta la presentación que deberá ser impartida a los participantes de la capacitación de polvo fugitivo.



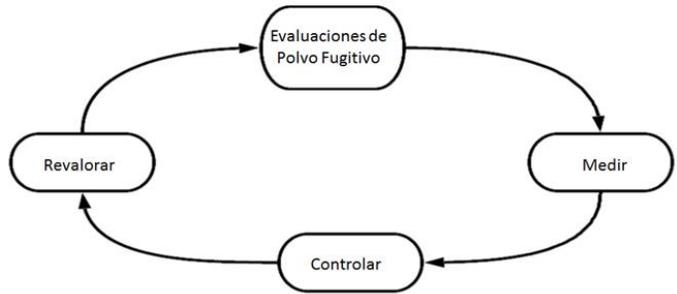
Contenidos de la capacitación

1. ¿Qué es el polvo fugitivo?
2. ¿Dónde puedo encontrar polvo fugitivo en nuestras instalaciones?
3. Peligros para la salud y seguridad provocados por el polvo fugitivo
4. ¿Por qué las evaluaciones de polvo fugitivo?
5. Sílice cristalina y material particulado respirable
6. ¿Por qué debo participar en los muestreos ocupacionales anuales?

¿Qué es polvo fugitivo?

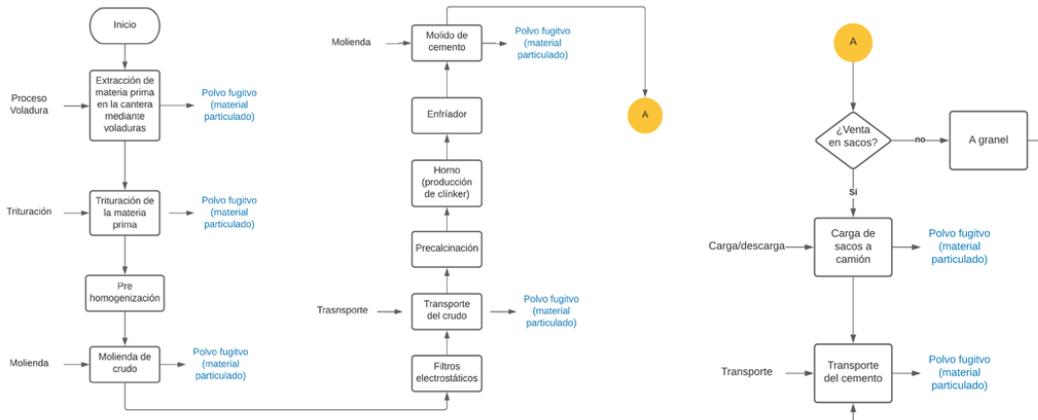


- Polvo que tiene la capacidad de aerotransportarse y acumularse, proveniente de fuentes dispersas y es provocado por el procesamiento, manejo y transporte de materiales.
- Los polvos fugitivos son un **peligro en el lugar de trabajo** que debemos gestionar mediante un ciclo de mejora continua.



¿Dónde puedo encontrar polvo fugitivo en nuestras instalaciones?

El polvo fugitivo puede encontrarse en todas las etapas del proceso productivo de fabricación de cemento, desde la extracción de materia prima hasta el despacho del cemento para su venta.



Peligros para la salud y seguridad provocados por el polvo fugitivo

Salud

- Función pulmonar reducida
- Enfermedad pulmonar
- Cáncer
- Calidad de vida reducida
- Herida en ojo
- Dermatitis



Seguridad

- Visibilidad reducida
- Peligros ocultos
- Superficies desiguales o resbaladizas
- Acumulación de material
- Daños estructurales
- Daños mecánicos y eléctricos a equipos, maquinaria



¿Por qué las evaluaciones de polvo fugitivo?

Se deben realizar evaluaciones de polvo fugitivo, ya que el polvo fugitivo tiene un impacto negativo

en:

- Salud de nuestra gente
- Entorno natural
- Comunidades vecinas
- Cumplimiento normativo
- Nuestra Reputación

¿Por qué las evaluaciones de polvo fugitivo?

Estos peligros para la salud pueden evitarse manteniendo la exposición de los trabajadores por debajo de los límites establecidos.

En Holcim nuestros límites de exposición son de la ACGIH - TLV y límites locales - el que sea más bajo

Agente	ACGIH-TLV	Tipo
Partículas no especificadas de otra manera (PNOS o Polvo)	3 mg/m ³	Respirable
Partículas no especificadas de otra manera (PNOS o Polvo)	10 mg/m ³	Inhalable
Sílice cristalina respirable	0.025 mg/m ³	Respirable
Cemento Portland (todo polvo de cemento / clinker)	1 mg/m ³	Respirable

- **ACGIH:** Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales
- **TLV:** Umbral de valor límite: “el nivel al que un trabajador puede estar expuesto día tras día durante toda su vida laboral sin efectos adversos”



Sílice cristalina y material particulado respirable

El polvo fugitivo de Holcim, esta conformado por dos agentes químicos muy peligrosos por los efectos negativos que pueden producir a la salud de los colaboradores:



Sílice cristalina

Es un mineral común que se encuentra en la corteza terrestre, principalmente en forma de cuarzo. Es un componente importante de la arena, la arcilla y las piedras que se usa para fabricar productos de uso cotidiano, como hormigón, ladrillos y vidrio.

Material particulado respirable

Partículas sólidas y gotas líquidas que se encuentran en el aire. Algunas partículas, como el polvo, la suciedad, el hollín, o el humo, son lo suficientemente grandes y oscuras como para verlas a simple vista. Otras son tan pequeñas que solo pueden detectarse mediante el uso de un microscopio electrónico

¿Por qué debo participar en los muestreos ocupacionales anuales?

Es la manera en que el departamento de H&S puede evaluar la exposición ocupacional a sílice cristalina y material particulado respirable.

A partir de esto, se puede realizar una evaluación de las tareas que realizan los colaboradores para determinar aspectos como:

-Aplicar la pirámide de control de riesgos

-Evaluar las tareas que realizan los colaboradores, para medir la efectividad del equipo de protección personal



VIII. Evaluación y seguimiento del programa

Para la evaluación de la efectividad del programa se propone una matriz de cumplimiento del programa basada en el Reglamento para la prevención de la silicosis en los centros de trabajo, esta revisión debe realizarse anualmente por el Departamento de H&S. La matriz que se muestra en el siguiente cuadro relaciona algunos de los apartados de este programa con los capítulos del reglamento antes mencionado.

Cuadro 27. Matriz de cumplimiento del programa basada en el Reglamento para la prevención de la silicosis en los centros de trabajo

Apartados del Reglamento de prevención de la silicosis en los centros de trabajo	Capítulos del programa de control de polvo fugitivo para la protección de los trabajadores expuestos a sílice cristalina y MPR														
	II. Liderazgo para la prevención de riesgos ocupacionales				III. Participación en el programa		IV. Identificación de peligros y evaluación de riesgos		V. Prevención y control de riesgos				VI. Cumplimiento legal		VII. Capacitación y formación
	Objetivos, metas y actividades del programa	Compromiso de la alta gerencia	Comunicación	Recursos	Asignación de responsabilidades	Matriz RACI	Evaluación ambiental a PM10 y PM2,5	Evaluación ocupacional a sílice cristalina y MPR	Control ingenieril para el quebrador primario	Control ingenieril para molinos	Control ingenieril para CEPAL	Controles administrativos	Código de Trabajo de Costa Rica	Reglamento General de Seguridad e Higiene de Trabajo (N° 11429)	Capacitación de polvo fugitivo
Medidas de protección	✓	✓					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Medidas de seguridad e higiene en el trabajo	✓	✓					✓	✓	✓	✓	✓				
Exámenes médicos preventivos	✓	✓			✓						✓				
Advertencia		✓									✓				
Sanciones		✓													

Nota: Los *check* representan aquellos capítulos de programa de control de polvo fugitivo que cumplen con lo mencionado en el apartado del Reglamento para la prevención de la silicosis en los centros de trabajo

Adicionalmente, para la evaluación y seguimiento del programa se propone un Plan de evaluación y seguimiento que incluye el apartado del programa a evaluar.

Cuadro 28. Plan de evaluación y seguimiento del programa de control de polvo fugitivo

Componente del programa a evaluar	Actividad	Herramienta de seguimiento y control	Responsable	Frecuencia
Identificación de peligros y evaluación de riesgos	Participación en los exámenes médicos anuales	<ul style="list-style-type: none"> • Lista de colaboradores que se realizaron exámenes médicos 	Departamento de H&S y Consultorio médico	Anual
	Evaluación ambiental a material particulado PM2,5 y PM10	<ul style="list-style-type: none"> • I-PCPF-1 Evaluación ambiental a material particulado (PM2,5 y PM10) • F-PCPF-1-1 Acta de muestreo de la evaluación ambiental • F-PCPF-3 Gestión de cambios 	Departamento de H&S	Anual
	Evaluación ocupacional a sílice cristalina y material particulado respirable	<ul style="list-style-type: none"> • I-PCPF-1 Evaluación ocupacional a sílice cristalina y MPR • F-PCPF-2-1 Acta de muestreo ocupacional • F-PCPF-2-2 Bitácora de muestreo evaluación ocupacional • F-PCPF-3 Gestión de cambios 	Departamento de H&S	Anual
Controles ingenieriles y administrativos	Verificar el estado de los controles	<ul style="list-style-type: none"> • F-PCPF-5 Control quebrador primario • F-PCPF-6 Control molino tres • F-PCPF-7 Control CEPAL 	Mantenimiento preventivo	1 vez cada 2 meses
Cumplimiento legal	Verificar nuevas actualizaciones o cambios en las normas, reglamentos y leyes mencionados	<ul style="list-style-type: none"> • F-PCPF-3 Gestión de cambios 	Departamento Legal y Departamento de H&S	Anual

	en el apartado de cumplimiento legal			
Capacitación y formación	Formación a los colaboradores en cuanto a temas de polvo fugitivo	<ul style="list-style-type: none"> • Hoja de asistencia a la capacitación • Evaluación de conocimientos 	Escuela de Capacitación y Departamento de H&S	Anual

IX. Cronograma de actividades

En la figura 25 se muestra el cronograma de actividades que deben llevarse a cabo en la empresa para la implementación del programa de control de polvo fugitivo para la protección de los trabajadores a sílice cristalina y MPR.

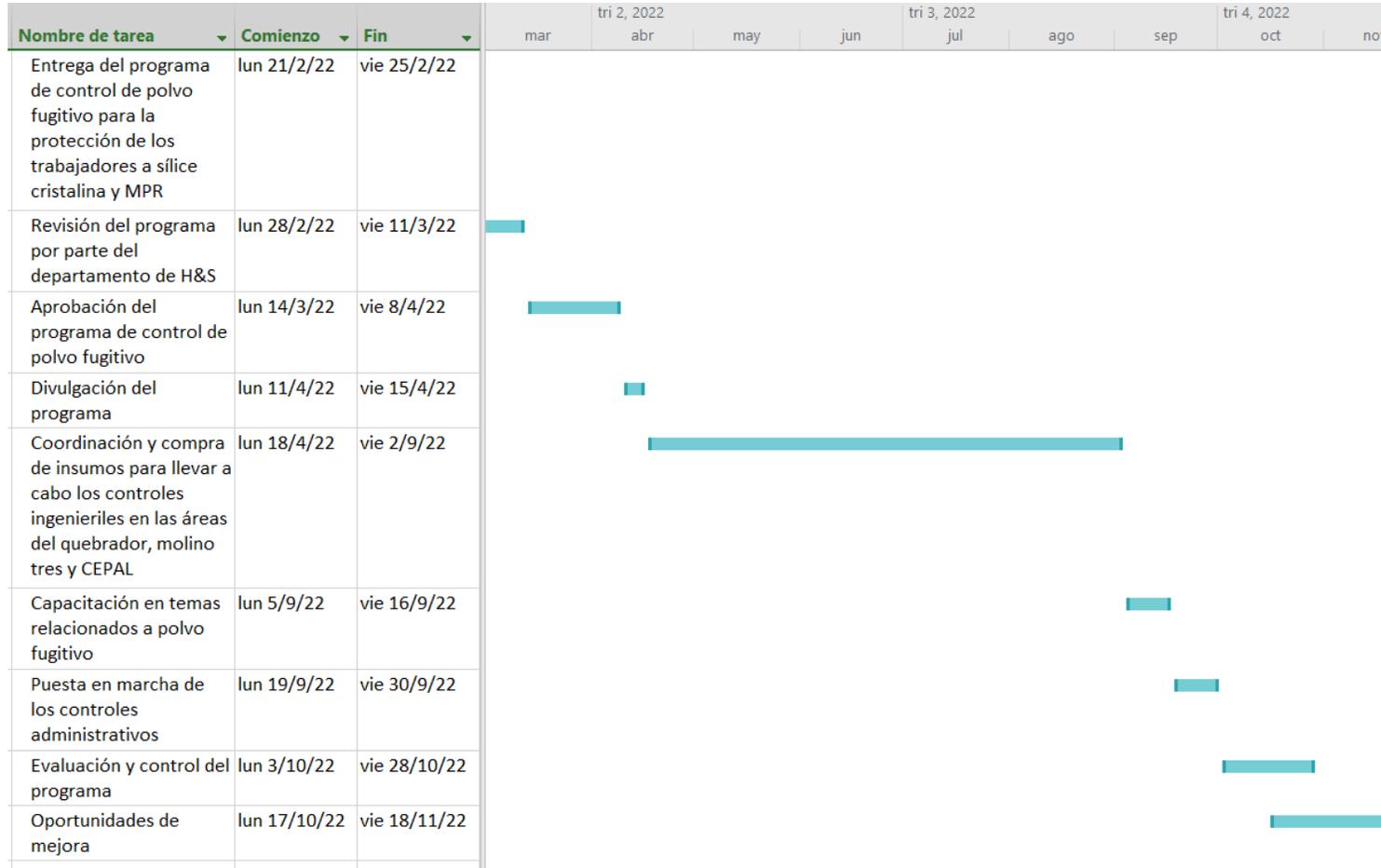


Figura 25. Diagrama de Gantt para la implementación del programa de control de polvo fugitivo

X. Presupuesto del programa

El presupuesto al que se encuentra ligado este programa de control fugitivo, se muestra en el cuadro 29, es importante mencionar que muchos de los valores económicos mencionados, deben ser verificados con los proveedores.

Cuadro 29. Presupuesto del programa de control de polvo fugitivo para la protección de los trabajadores expuestos a sílice cristalina y material particulado respirable

Control	Recurso	Descripción	Proveedor	Costo (₡)
Cambio de la tela del filtro 211 FT1, revisión y reparación del colector de polvo	Tela de politetrafluoroetileno (PTFE).	Cambio de tela del filtro FT1	Agencia Vivo para la tela	3 350 000
	Técnicos mecánicos y eléctricos	Revisión y reparación del colector de polvo para asegurar el buen funcionamiento de todo el filtro	Ingeniero Adrián Muñoz	928 000
Reparación bajante 510 EC1 y desempolvamiento	Técnicos mecánicos y eléctricos	Reparación a nivel estructural del bajante y desempolvamiento derrames de material	Ingeniero Geovanny Morún	2 000 000
	Operarios del área de producción	Actividades de limpieza posteriores a la reparación del bajante y desempolvamiento	Departamento de producción	4 030 000
Barredora industrial	Operadores de proceso	Compra de barredora industrial para el área de CEPAL	Colaborador del Departamento de Mecánica Automotriz	60 000 000
Evaluación ambiental	Departamento H&S	Equipo: medidor de partículas PCE MPC 20	GOLTECH	867 857
Evaluación ocupacional a sílice cristalina y MPR	Departamento H&S	Toma de muestras ocupacionales de sílice cristalina	12 muestras (más dos blancos)	765 632
		Toma de muestras ocupacionales MPR	12 muestras (más 2 blancos)	533 750
Capacitación polvo fugitivo	Escuela de Capacitación	Capacitación de los trabajadores en polvo fugitivo	Escuela de Capacitación y Departamento de H&S	810 000
Total				73 285 239

XI. Conclusiones

- Los controles ingenieriles y administrativos que se proponen en este programa de control de polvo fugitivo en las áreas del quebrador primario, molino tres y CEPAL, permitirán reducir las inmisiones de polvo fugitivo en las instalaciones de Holcim, beneficiando directamente la salud y seguridad de los colaboradores que se encuentran expuestos a sílice cristalina y material particulado respirable.
- La asignación de responsabilidades y actividades permite que se asegure el compromiso de la alta gerencia con la implementación del programa y de la asignación de responsabilidades a todos los departamentos de la organización, para que este programa cuente con equipos de trabajo multidisciplinario.
- Los diseños de los controles ingenieriles para las áreas del quebrador primario, molino tres y CEPAL fueron elegidos contemplando los factores: ambientales, costos, proceso, salud y seguridad y legales, con el fin de que cada uno se acople a las necesidades y requerimientos de la organización.
- El aplicar los instructivos para la evaluación ambiental a PM_{2,5} y PM₁₀ y ocupacional permitirá contar con un registro anual de mediciones efectuadas siguiendo mismo proceso llevado a cabo el año 2021, lo que facilitará la comparación de los resultados para el análisis de la información y la toma de decisión que puedan beneficiar en la reducción de inmisiones de polvo fugitivo.
- Contar con formularios de verificación de los controles ingenieriles, permitirán tener un control acerca de las condiciones de los controles propuestos para el quebrador primario, el molino tres y CEPAL.
- El instructivo de uso, almacenamiento, inspección, mantenimiento y limpieza de equipo de protección respiratoria permite contar con los pasos necesarios para que el factor de protección del EPR sea efectivo, a partir de buenas prácticas por parte del colaborador que debe hacer uso del EPR para reducir su exposición a sílice y MPR.

- Capacitar y formar a los trabajadores en temas relacionados con la exposición de polvo fugitivo, ayuda a que puedan identificar los peligros que este contaminante puede ocasionarles a su salud y seguridad.

XII. Recomendaciones

- Se recomienda que la implementación de los controles ingenieriles en las zonas del quebrador primario, molino tres y CEPAL sea según lo establecido en este programa en el apartado de identificación de peligros y evaluación de riesgos, con el fin de disminuir las inmisiones de polvo fugitivo lo más pronto posible.
- La participación e involucramiento de todos los departamentos en la implementación del programa de control de polvo fugitivo es la clave para lograr cumplir con los objetivos y metas propuestos.
- Las evaluaciones ambientales y ocupacionales relacionadas con la exposición de polvo fugitivo deben realizarse siguiendo los instructivos propuestos en este programa. Es importante mencionar que las mediciones de exposición ocupacional a sílice cristalina son claves para el establecimiento de medidas de control para la protección de los trabajadores.
- Se debe involucrar los formularios de verificación de los controles ingenieriles en los planes de mantenimiento preventivo, para que estos sean parte de los VOSOS realizados en la organización,
- Debe ser aplicado el procedimiento de uso, almacenamiento, inspección. Mantenimiento, limpieza, pruebas de ajuste y cambio de los filtros del equipo de protección respiratoria por todos los colaboradores que se encuentran expuestos a polvo fugitivo, además deben llevarse a cabo las pruebas de ajuste de los respiradores con el fin de que el factor de protección del mismo sea efectivo.
- Formar una vez al año a los colaboradores que se encuentran expuestos a polvo fugitivo, para que puedan comprender el concepto de polvo fugitivo, identificar en que partes del proceso se genera, conocer acerca de los peligros para la seguridad y salud que puede provocar, además comprender sobre porque se realizan las evaluaciones a polvo fugitivo y la importancia de que participen en los muestreos.

VIII. Bibliografía

- Administración de Seguridad y Salud Ocupacional [OSHA]. Protección respiratoria. (Norma OSHA 29 CFR 1910.134)
- Administración de Seguridad y Salud Ocupacional. (2021). Pruebas de ajuste de los respiradores. <https://www.osha.gov/video/respiratory-protection/fit-testing/transcript-sp#:~:text=Las%20pruebas%20de%20ajuste%20cualitativas,en%20la%20m%C3%A1scara%20del%20respirador>
- American Lung Association. (2019). Lung Health & Diseases: Silicosis. [Online]
- Ángulo, A. (2019). Programa de control de riesgos de accidentes derivados de las actividades de trasiego, manipulación y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas para el Instituto Tecnológico de Costa Rica, campus Cartago.
- Aslam, A., Ibrahim, M., Shahid, I., Mahmood, A., Irshad, M. K., Yamin, M., Ghazala, Tariq, M., & Shamsiri, R. R. (2020). Pollution Characteristics of Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀) and Constituent Carbonaceous Aerosols in a South Asian Future Megacity. *Applied Sciences* (2076-3417), 10(24), 8864. <https://doi-org.ezproxy.itcr.ac.cr/10.3390/app10248864>
- Aralco. (s.f). Sistemas de supresión de polvo por niebla seca DryFog. <https://app.box.com/s/duk6hq72sfumjazj23qwbs0b9tl73l6j>
- Barnes, D., & Connor, B. (2014). Managing Dust on Unpaved Roads and Airports. Alaska Department of Transportation & Public Facilities, Alaska University Transportation Center, Fairbanks, Ak
- Carrasco, G., Martínez J., Villar N., (2017). Movimientos sociales en oposición a las industrias cementeras en México.

- Castillo, E., & Seijas, S. (2019). Minimización de material particulado generado en el proceso de clinkerización mediante el empleo de filtros de mangas. *Revista Ciencia y Tecnología*, 15(3), 169-181.
- Chaulya, S. K., Chowdhury, A., Kumar, S., Singh, R. S., Singh, S. K., Singh, R. K., Prasad, G. M., Mandal, S. K., & Banerjee, G. (2021). Fugitive dust emission control study for a developed smart dry fog system. *Journal of Environmental Management*, 285, 112116. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112116>
- Chacón, Y. (2019). Programa para la gestión de la seguridad del riesgo químico en las actividades de ingreso, etiquetado, transporte y almacenamiento de sustancias en la bodega de materia prima de la planta división limpieza de Grupo Irex de Costa Rica S.A.
- Cheremisinoff, R., Davletshin P. (2008). *Cuidado responsable: una nueva estrategia para la prevención de la contaminación y la reducción de desechos mediante la gestión ambiental: 7.4 Fabricación de aluminio*. Compañía Editorial del Golfo.
- Chuck, K., Gus, C. (2020). Mitigate Dust Hazards With Good Equipment and System Design. *Chemical Engineering*, 127(11), N.PAG.
- Cecala, B., et al. (2012). *Dust Control Handbook for Industrial Minerals Mining and Processing*.
- Consejo de Salud Ocupacional. [CSO].
- Díaz, L., et al. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Investigación en educación médica*, 2(7), 162-167.
- Eureka. (2021). Bull 200 BARREDORA HOMBRE A BORDO DE CARGA DELANTERA Y GUÍA FRONTAL https://www.eurekasweepers.com/sites/default/files/downloads/product/641/folleto_bull_200_esp_web.pdf

- Fang, G.C., Chang, C.N., Chu, C.C., Wu, Y.S., Fu, P., Yang, I.L., y Chen, M.H. (2003). Characterization of particulate, metallic elements of TSP, PM_{2.5} and PM_{2.5-10} aerosols at a farm sampling site in Taiwan Taichung. *The Science of the Total Environment*, 308, 157-166
- Haughnessy, W. J., Venigalla, M. M., & Trump, D. (2015). Health effects of ambient levels of respirable particulate matter (PM) on healthy, young-adult population. *Atmospheric Environment*, 123, 102-111. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.10.039>
- HAYER & BOECKER. (2021). Ensacadoras para sacos de válvula HAYER. http://haver.es/images/hbi/docs/paper/Ensacadoras_para_sacos_de_valvula.pdf
- Instituto para la Salud Geoambiental. (2013) *Material particulado*. <https://www.saludgeoambiental.org/material-particulado>
- Instituto Nacional del Cáncer. (2015). Sílice cristalina. <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/causasprevencion/riesgo/sustancias/silice-cristalina>
- Instituto de Normas Técnicas en Costa Rica. [INTECO]. (2014). *Salud y Seguridad en el trabajo. Concentraciones ambientales máximas permisibles en los centros de trabajo*. (Norma INTE 31-08-04: 2014)
- Instituto de Normas Técnicas en Costa Rica. [INTECO]. (2016). *Requisitos para la elaboración de programas de salud y seguridad en el trabajo*. (Norma INTE 31-09-09: 2016)
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. (2006). *Bombas para el muestreo personal de agentes químicos*. https://www.insst.es/documents/94886/359418/CR_001_A06.pdf/172434fa-bd4e-4500-950c-26fb365a2ea4?version=1.0&t=1528890639234

- Kavazanjian, J., Hambleton, E., James, P., Roman, B., Aaron, S. (2020). Impact on Surface Hydraulic Conductivity of EICP Treatment for Fugitive Dust.
- Lawal, O., & Asimiea, A. O. (2017). Modelling of the potential pattern and concentration of fugitive dust around a cement plant. *Environmental Research, Engineering and Management*, 73(1), 48-58. 10.5755/j01.erem.73.1.15398
- Longarini, C. (2011). La Matriz RACI, una herramienta para organizar tareas en la empresa. Fecha de consulta, 10, 08-15.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2015). Conceptos de calidad del aire – PPDA.<https://ppda.mma.gob.cl/conceptos-de-calidad-del-aire/>
- Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Social de España. (2018). Estrategias de muestreo. <https://www.siliceysalud.es/index.php/evaluacion-de-riesgos/medicion/estrategia-de-muestreo/>
- Morales, F. (2012). Conozca 3 tipos de investigación: Descriptiva, Exploratoria y Explicativa. Recuperado el, 11, 2018.
- 3M.(2021). PROGRAMA DE PROTECCIÓN RESPIRATORIA. https://www.3m.co.cr/3M/es_CR/epp-la/soluciones-de-seguridad/programa-de-proteccion-respiratoria/
- 3M.(2018).Ayudándole a Usarlo Correctamente. <https://multimedia.3m.com/mws/media/737831O/proteccion-respiratoria.pdf>
- 3M. (2021). Productos para Protección Respiratoria. <https://multimedia.3m.com/mws/media/737831O/proteccion-respiratoria.pdf>
- Organización Iberoamérica de Seguridad Social. (2016). Metodología para la identificación, evaluación y control de la exposición a contaminantes químicos. <https://oiss.org/wp-content/uploads/2018/11/2-EOSyS-09-v2.pdf>
- Organización Panamericana de la Salud. [OPS].(2018).Calidad del aire. <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>

- Poudyal, L., & Adhikari, K. (2021). Environmental sustainability in cement industry: An integrated approach for green and economical cement production. *Resources, Environment and Sustainability*, 4, 100024. 10.1016/j.resenv.2021.100024
- Pouliot, G., Simon, H., Bhave, P., Tong, D., Mobley, D., Pace, T., & Pierce, T. (2011). Assessing the Anthropogenic Fugitive Dust Emission Inventory and Temporal Allocation Using an Updated Speciation of Particulate Matter. *Air Pollution Modeling and its Application XXI* (pp. 585-589). Springer Netherlands. 10.1007/978-94-007-1359-8_97
- Quijano, A., Quijano, M., y Henao, J. (2010). Caracterización fisicoquímica del material particulado fracción respirable PM2.5 en Pamplona-Norte de Santander-Colombia. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 8(1), 1-20.
- Quiroa, Myriam. (s.f). Matriz RACI. <https://economipedia.com/definiciones/matriz-raci.html>
- Román, Alberto. (2013). Estudio del contenido de hidrocarburos policíclicos aromáticos y metales en partículas atmosféricas de diferentes diámetros aerodinámicos de La Comarca Lagunera, México.
- Ruíz, L. (2020). ¿Cómo redactar correctamente un informe? <https://www.mundodeportivo.com/uncomo/educacion/articulo/como-redactar-correctamente-un-informe-20770.html>
- Radulovic, S., W, Wojcinski. (2014). PTFE (Polytetrafluoroethylene). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00970-2>
- Safe Welding. (2021). Contaminant categories: from breathable to ultrafine. <https://safe-welding.com/contaminant-categories-from-breathable-to-ultrafine/>
- Sistema Costarricense de Información Jurídica. (2016). Reglamento de Calidad del Aire para Contaminantes Criterio, Decreto Ejecutivo N° 39951-S (2016)

Sistema Costarricense de Información Jurídica. (2015). Reglamento para la Prevención de la Silicosis en los Centros de Trabajo).

Suárez Tamayo, S., & Molina Esquivel, E. (2014). El desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente. *Revista cubana de higiene y epidemiología*, 52(3), 357-363.

Spraying Systems Co,s.f. Fine Spray Nozzles.https://www.spray.com.mx/SprayWeb/pdf/wet_dust_fundamentals.pdf

Spraying Systems Co,s.f. Fine Spray Nozzles.https://www.spray.com.mx/Assets/SPRAY/Cat75HYD_US_E.pdf

STSCRAPETEC. (s.f). Sin contacto faldon para banda trasportadora https://scrapetec-trading.com/wp-content/uploads/AirScrape_folleto_ES.pdf

Pérez Anna. (2021). ¿Qué es un diagrama de Gantt y para qué sirve? <https://www.obsbusiness.school/blog/que-es-un-diagrama-de-gantt-y-para-que-sirve>

Teamleader. (2019). ¿Qué es y para qué sirve un diagrama de Gantt? <https://www.teamleader.es/blog/diagrama-de-gant>

Vargas Cordero., Zoila Rosa. (2009). La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científicas

Wang T. (2020): <https://www.statista.com/statistics/219343/cement-production-worldwide/#:text=Cement%20production%20reached%20an%20estimated,in%202019%20in%20the%20U.S> (Consultado 5 de junio de 2020).

Wilmer.(2019).La aplicación del empaque: fundamentos del sellado por ultrasonido.<https://www.elempaque.com/blogs/La-aplicacion-de-empaque,-fundamentos-del-sellado-por-ultrasonido+130847>

IX. Anexos

Anexo 1. Resultados obtenidos en las mediciones ocupacionales a sílice cristalina realizadas en el año 2018

Código	Puesto	Concentración (mg(m3))	Tiempo muestreo (min)
T1	Electricista	NC	525
T2	Mantenimiento preventivo	0,036 decimales se separan con coma, no con punto	480
T3	Producción torre	0,032	537
T4	Mantenimiento preventivo	0,043	488
T5	Producción Horno	0,038	519
T6	Mecánico VOSO	NC	545
T7	Mecánico	0,05	490
T8	Producción crudo	0,028	541
T9	Mecánico	0,027	465
T10	Producción molineda	0,19	604
T11	Producción molineda	0,071	598
T12	Mecánico	0,027	465
T13	Electricista	ND	583
T14	Mecánico	NC	561
T15	Preventivo	0,01	583
T16	Preventivo	0,01	499
T17	Producción torre	0,014	504
T18	Producción Molienda	0,022	515

T19	Producción molineda	0,020	576
T20	Producción crudo	0,013	516
T21	Electricista	0,016	618
T22	Mecánic VOSO	0,032	582
T23	Molieda	ND	552
T24	Supervisor producción	ND	520
T25	Supervisor mante	ND	473
T26	Operador campo	NC	549
T27	Operador equipo móvil	ND	542
T28	Operador montacarguista	ND	542
T29	Técnico de proceso	0,38	565
T30	Zona de tapado	ND	429
T31	Calidad	NC	452
T32	Silo 10 carga	ND	320
T33	Montacarguista	0,031	377
T34	Operador equipo móvil	NC	466
T35	Operador equipo móvil	ND	440
T36	Operador equipo móvil	ND	439
T37	Superivisor mina	0,011	541
T38	Técnico proceso CEPAL	0,068	424
T39	Operador silo clínker	ND	505
T40	Calidad	0,022	450
T41	Supervisor mantenimiento	0,015	564

T42	Supervisor molienda	ND	456
T43	Servicios generales	NC	550
T44	Despacho interno	0,022	511

Fuente: Laboratorio de Higiene Analítica, 2018

Anexo 2. Resultados obtenidos en las mediciones ocupacionales realizadas en el año 2018

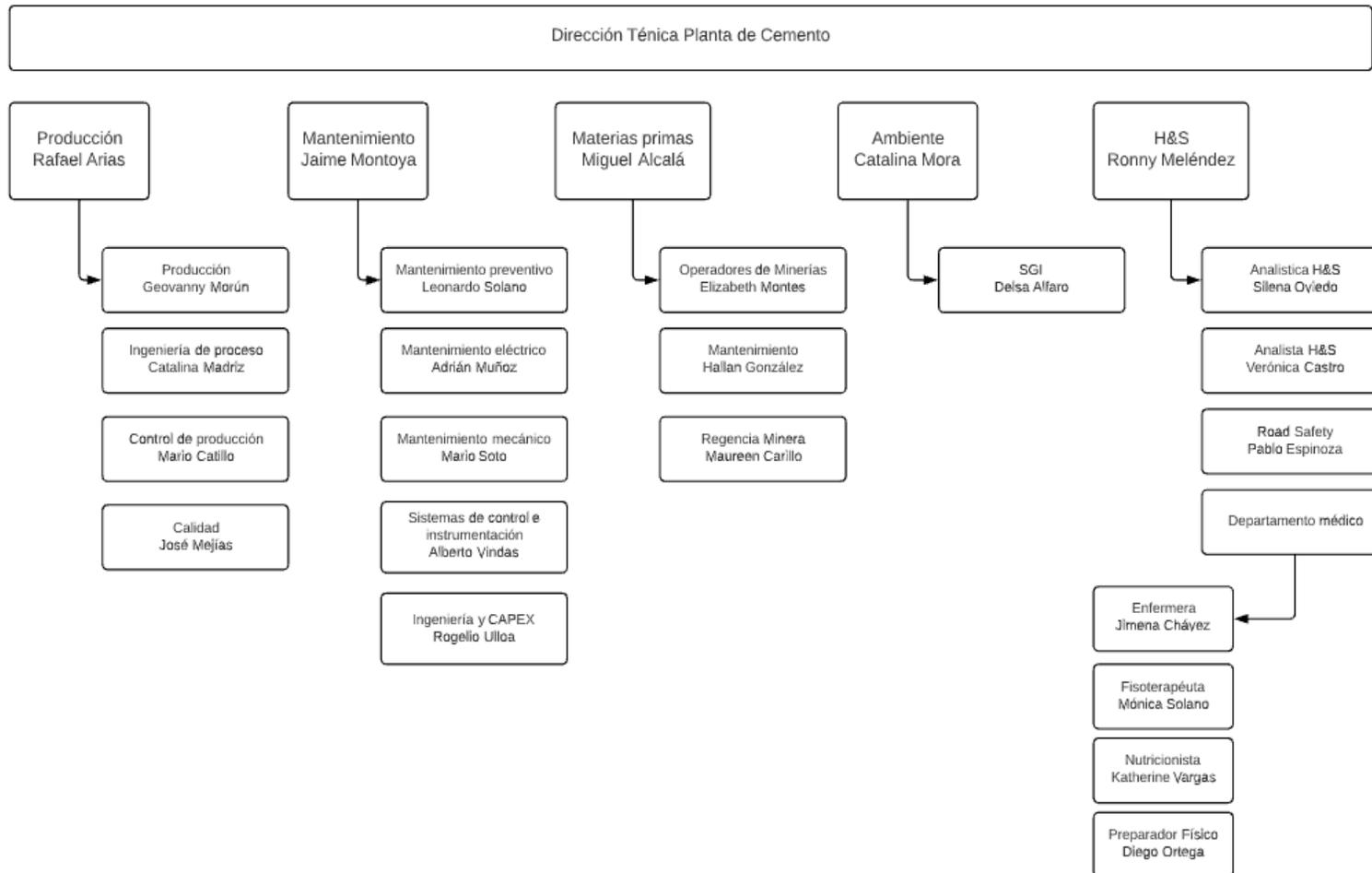
Código	Puesto	Concentración (mg/m ³)	Tiempo muestreo (min)
T1	Silo 10	NC	356
T2	excavadora	ND	468
T3	cargador mina	NC	429
T4	perforación y voladura	ND	643
T5	ensacadora de CEPAL	NC	415
T6	molino de curdo	NC	548
T7	operador de horno	0.2	580
T8	operador de torre	0.3	578
T9	producción de molienda	0.5	536
T10	despacho interno	0.7	551
T11	mantenimiento correctivo	ND	534
T12	zona de tapado	0.4	465
T13	servicios generales	NC	523
T14	cargador planta	ND	487
T15	lubricación	0.6	534
T16	eléctrico	NC	395
T17	eléctrico	NC	514
T18	supervisor mecánico	0.5	458
T19	servicios generales	NC	529
T20	calidad	0.8	396

T21	supervisor de mante	ND	518
T22	mantenimiento mecánico	ND	493
T23	operador horno	NC	559
T24	operador torre	NC	560
T25	calidad	NC	466
T26	cargador planta	0.2	578
T27	operador crudo	NC	547
T28	mantenimiento mecánico	NC	533
T29	mantenimiento mecánico	NC	560
T30	molienda	1	538
T31	silo clínker	0.3	559
T32	mantenimiento mecánico	1.1	551
T33	mantenimiento eléctrico	NC	566
T34	operador molienda	0.24	610
T35	mecanico despacho	0.4	579
T36	supervisor producción	NC	602
T37	mantenimiento mecánico	ND	536
T38	mantenimiento preventivo	NC	565
T39	mantenimiento mecánico	2	491
T40	mantenimiento mecánico	3.7	630
T41	mantenimiento preventivo	NC	567
T42	mantenimiento mecánico	2.4	574

Fuente: Laboratorio de Higiene Analítica, 2018

X. Apéndices

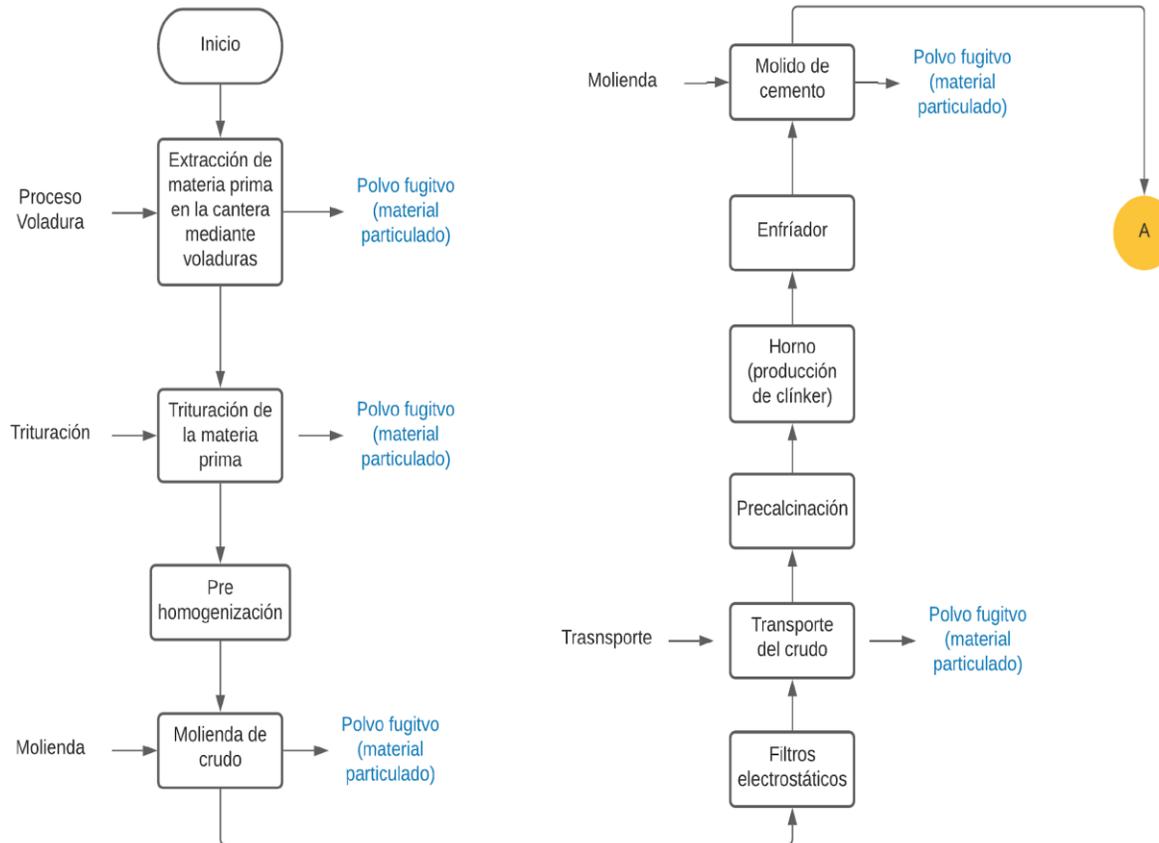
Apéndice 1. Organigrama de Holcim Costa Rica

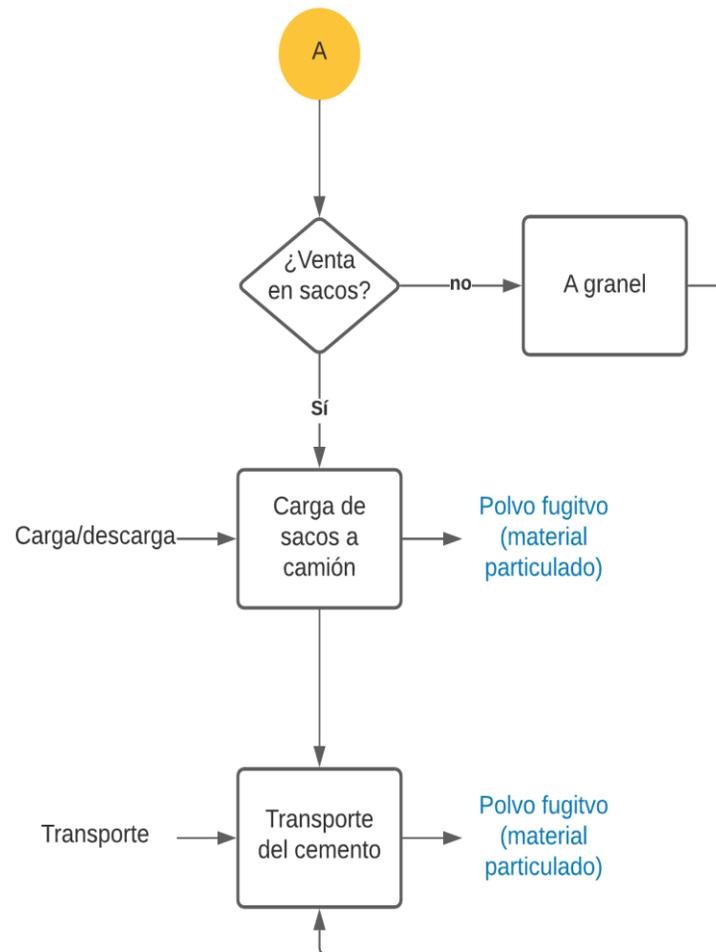


.Apéndice 2. Cantidad de colaboradores y jornada

Área	Cantidad de colaboradores	Jornada
Gerente general	1	7:00 a.m. – 5:00 p.m.
Sistemas de sostenibilidad y gestión	5	7:00 a.m. – 5:00 p.m.
Administración	1	7:00 a.m. – 5:00 p.m.
Control de calidad	3	7:00 a.m. – 5:00 p.m.
Gerente de mantenimiento	1	7:00 a.m. – 5:00 p.m.
Mantenimiento eléctrico	12	7:00 a.m. – 5:00 p.m.
Mantenimiento mecánico	1	7:00 a.m. – 5:00 p.m.
Mantenimiento preventivo	11	7:00 a.m. – 5:00 p.m.
Gerente producción	1	7:00 a.m. – 5:00 p.m.
Producción	32	6:00 a.m. – 2:00 p.m., 2:00 p.m. – 10:00 p.m. 10:00 p.m. – 6:00 a.m.
Gerente de minería	1	7:00 a.m. – 5:00 p.m.
Minería	19	6:00 a.m. – 2:00 p.m., 2:00 p.m. – 10:00 p.m. 10:00 p.m. – 6:00 a.m.
H&S	2	7:00 a.m. – 5:00 p.m.
Recursos humanos	1	7:00 a.m. – 5:00 p.m.
Total	91	

Apéndice 3. Proceso productivo, Holcim Costa Rica





Apéndice 4. Entrevista semiestructurada al médico de empresa

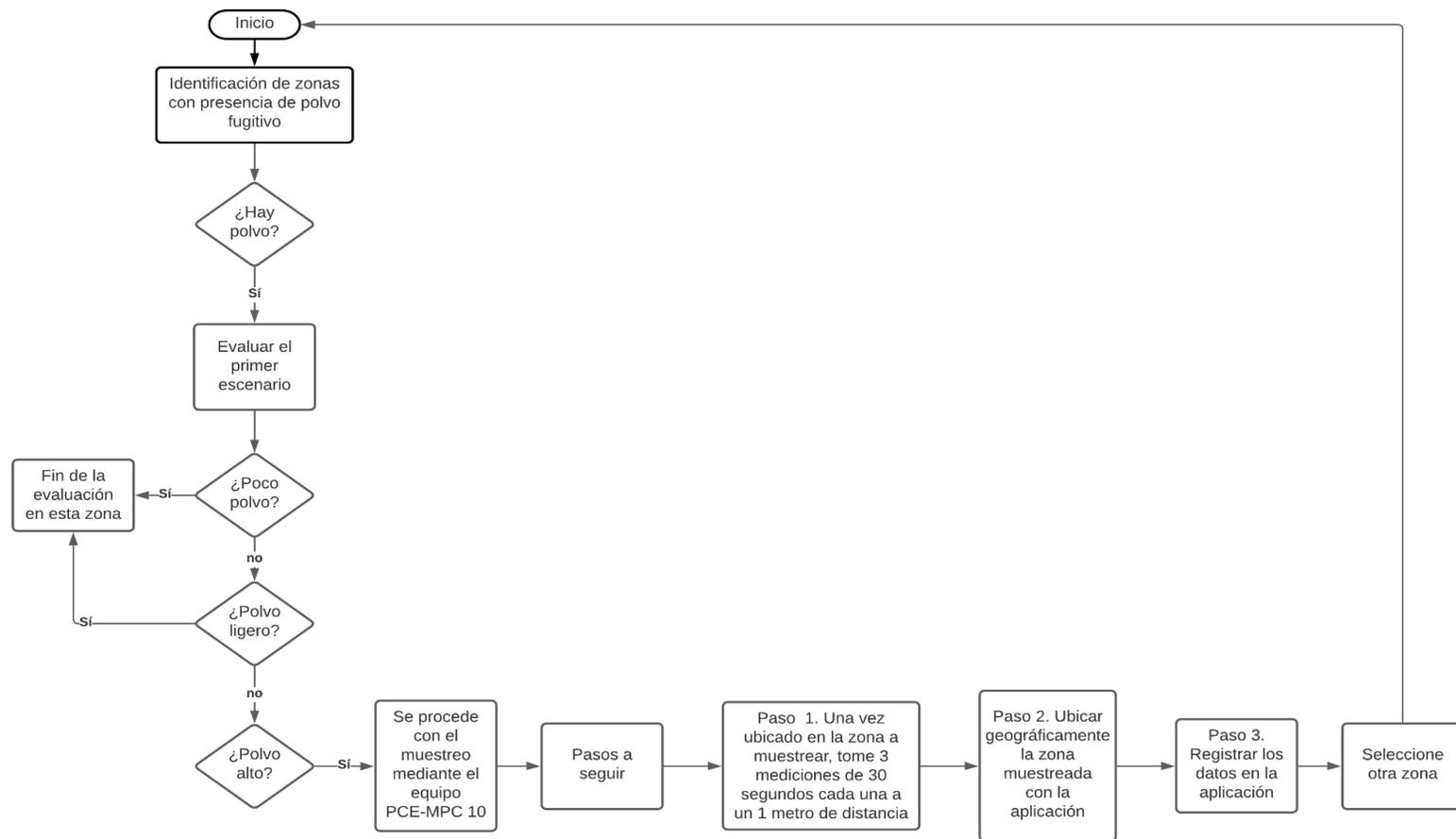
<i>Entrevista semiestructurada</i>	
Empresa: Holcim Costa Rica Lugar: Encargado: Fecha:	
Preguntas	Respuestas
1. ¿Cada cuánto se realizan las espirometrías?	
2. ¿Cuáles son las áreas que presentan valores de cuidado en los resultados de las espirometrías?	
3. Aproximadamente, ¿Cantidad de espirometrías realizadas en un año?	
4. ¿Existen mecanismos de control en caso de que una persona presente daños a nivel de salud por exposición a polvo?	
5. Conforme han pasado los años, ¿Ha existido alguna disminución en cuanto a las molestias o padecimientos de las personas expuestas a polvo?	
6. Además de las espirometrías, ¿Que otro control médico se realiza para la prevención ?	

Apéndice 5. Encuesta Higiénica para la evaluación de polvo fugitivo

Encuesta Higiénica	
Empresa: Holcim Costa Rica Lugar: Holcim Encargado: Fecha:	
Preguntas	Respuestas
1. ¿Qué tareas se realizan de manera general ?	
2. Jornadas de trabajo/tiempos de exposición	
3. Herramientas, máquinas y equipo de trabajo	
4. Tipo de EPP utilizado	
5. ¿Se realiza mantenimiento al EPP?, ¿Cada cuánto se puede cambiar los filtros?	
6. ¿Cuál es la principal vía de ingreso de la partícula al organismo?	
7. ¿Existe riesgo de incendio y explosión por la acumulación de estos agentes químicos ?	
8. Valores límites de los agentes químicos	
9. Riesgos para la salud (enfermedades, daños)	
10. ¿Existe una ventilación adecuada para mantener los niveles de polvo lo más bajos posible?	
11. Distancias de la fuente y el trabajador	
12. ¿Se utilizan controles de ingeniería para mantener el nivel de polvos por debajo de los límites de exposición?	
13. ¿Se utilizan controles administrativos para mantener el nivel de polvos por debajo de los	

límites de exposición?	
14. ¿Cuáles son los procesos de realizar la limpieza, se usa aire comprimido, se sacude, se barre, se aspira, se limpia en húmedo?	
15. ¿Cuáles son las zonas con mayor problemática relacionada a polvo fugitivo?	
16. ¿Han realizado un monitoreo para asegurar que los niveles de exposición se encuentren dentro de los límites permitidos?	
17. Vigilancia médica según grupo similar de exposición	
18. Se cuenta con procedimiento estandarizado para realizarla tarea	

Apéndice 6. Visión esquemática del procedimiento de estrategia de evaluación ambiental de Holcim



Apéndice 7. Acta de muestreo para evaluar la exposición ambiental a PM2,5 µg/m³ y PM10 µg/m³

Acta de muestreo ambiental						
Empresa: Holcim Costa rica						
Encargado:						
Medición	Zona	Área específica	Fecha	Hora	PM2,5 (µg/m³)	PM10 (µg/m³)

Apéndice 8. Acta de muestreo para evaluar la exposición ocupacional a sílice cristalina y MPR

Acta de muestreo ocupacional							
Empresa: Holcim Costa Rica Fecha Temperatura: Presión atmosférica: Agente químico a muestrear:							
Nombre del trabajador	Puesto	ID de la muestra	ID de la bomba	Flujo inicial (L/min)	Flujo final (L/min)	Hora inicial	Hora final

Apéndice 9. Cálculos realizados para obtener la concentración de en mg/m³ de sílice cristalina.

ID muestra	Flujo promedio (L/min)	Tiempo de muestreo (min)	Masa (mg)	Corrección del flujo (L/min) por curva de calibración $y=1,0126x-0,1752$	Volumen de muestreo (L/min)	Concentración (mg/m ³)
L-45	1,55	602	0,014	1,70373	1025,647	0,01365
L-35	1,55	594	0,01	1,70373	1012,017	0,00988
L-167	1,6	559	0,054	1,75311	979,989	0,05510
L-29	1,4	500	0,054	1,55560	777,800	0,06943
L-110	1,55	541	0,048	1,70373	921,720	0,05208
L-42	1,65	360	0,122	1,80249	648,896	0,18801
L-290	1,55	580	0,047	1,70373	988,165	0,04756
L-54	1,6	570	0,014	1,75311	999,273	0,01401
L-266	1,6	540	0,044	1,75311	946,680	0,04648
L-195	1,65	435	0,025	1,80249	784,083	0,03188
L-62	1,65	445	0,036	1,80249	802,107	0,04488
L-114	1,55	581	0,007	1,7037	989,8689	0,0071

Apéndice 10. Cálculos realizados para obtener la concentración de en mg/m³ de MPR

ID muestra	Flujo promedio (L/min)	Tiempo de muestreo (min)	Masa (mg)	Corrección del flujo (L/min) por curva de calibración $y=1.0126x-0.1752$	Volumen de muestreo (L/min)	Concentración (mg/m ³)
L63	1,65	535	ND	1,8025	964,3314	0,432
L115	1,55	500	ND	1,7037	851,8665	0,447
L215	1,6	460	0.2	1,7531	806,4310	0,217
L75	1,55	475	0.3	1,7037	809,2732	0,211
L83	1,55	568	8.2	1,7037	967,7203	0,176
L159	1,55	480	0.2	1,7037	817,7918	0,208
L67	1,6000	430	NC	1,7531	753,8376	0,2326
L78	1,6500	460	2,9	1,8025	829,1448	0,2174
L96	1,6500	441	0,2	1,8025	794,8975	0,2268
L98	1,6	525	NC	1,7531	920,3832	0,1905
L104	1,55	575	0.2	1,7037	979,6465	0,1739
L279	1,65	540	NC	1,8025	973,3439	0,1852

Apéndice 11. Pruebas de bondad y ajuste para sílice cristalina

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
TWA	.273	12	.014	.740	12	.002

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Figura 1. Valores obtenidos en las pruebas no paramétricas para sílice cristalina

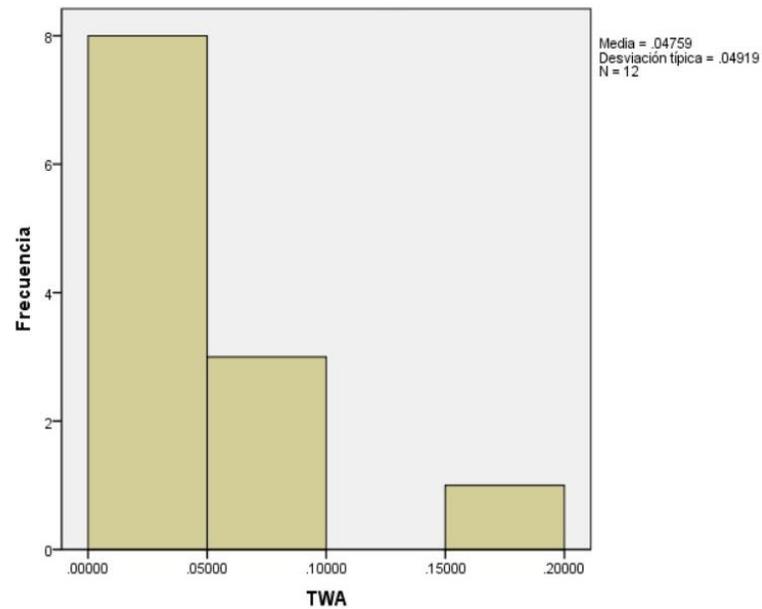


Figura 2. Histograma de valores obtenidos en las pruebas no paramétricas para sílice cristalina

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
LnTWA	.237	12	.061	.911	12	.221

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Figura 3. Valores obtenidos en las pruebas no paramétricas para sílice cristalina una vez aplicado el logaritmo natural a los valores de las concentraciones

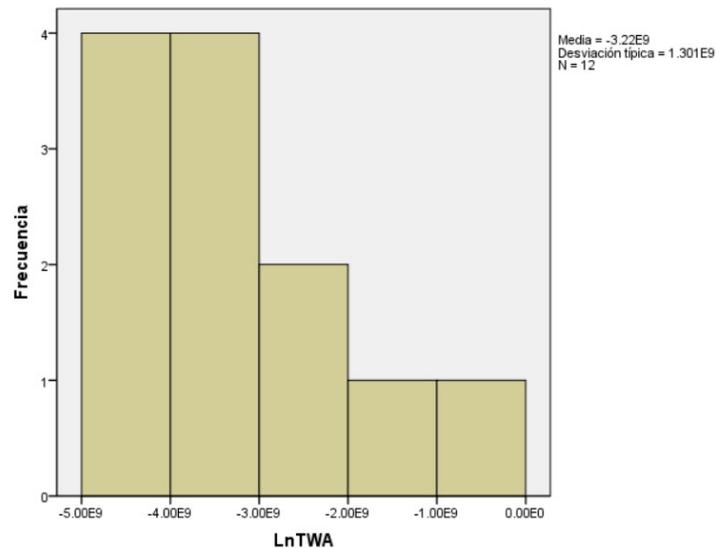


Figura 4. Valores obtenidos en las pruebas no paramétricas para sílice cristalina una vez aplicado el logaritmo natural a los valores de las concentraciones

Apéndice 12. Pruebas de bondad y ajuste para MPR

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
TWA	.378	12	.000	.660	12	.000

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Figura 1. Valores obtenidos en las pruebas no paramétricas para MPR

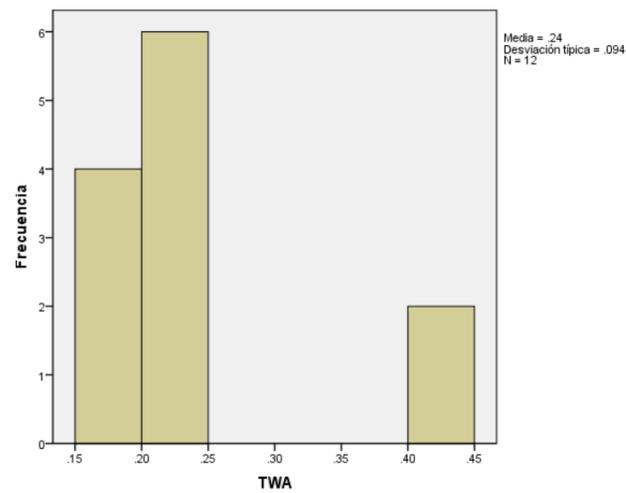


Figura 2 Histograma de valores obtenidos en las pruebas no paramétricas para MPR

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Ln TWA	.138	12	.200 [*]	.948	12	.604

a. Corrección de la significación de Lilliefors
 *. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

Figura 3. Valores obtenidos en las pruebas no paramétricas para MPR una vez aplicado el logaritmo natural a los valores de las concentraciones

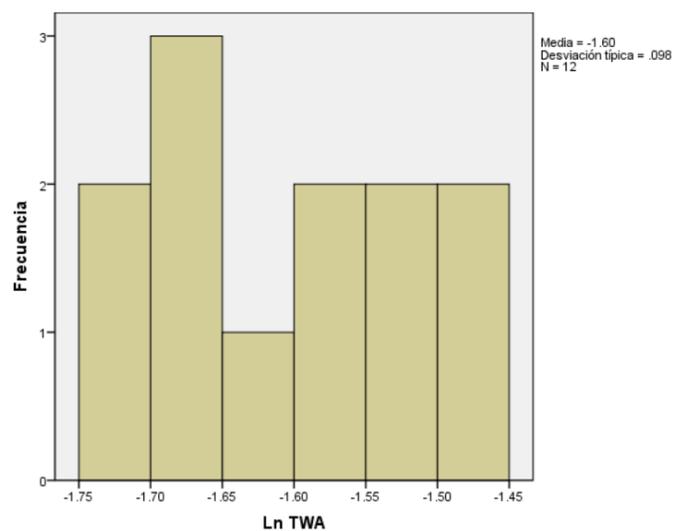


Figura 4. Histograma de valores obtenidos en las pruebas no paramétricas para MPR una vez aplicado el logaritmo natural a los valores de las concentraciones

Apéndice 13. Valores obtenidos al realizar la estrategia de evaluación ambiental a material particulado del año 2021 en los diámetros de 2,5 y 10 micrómetros.

Medición	Zona	Área específica	Fecha	Hora	PM _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Promedio PM 2,5 (mg/m ³)	Promedio PM 10 (mg/m ³)
1	Crudo	Tolvas de crudo	14/7/2021	10:31	71	4	0,0517	0,0030
2			14/7/2021	10:32	42	3		
3			14/7/2021	10:32	42	2		
4		Rechazo de crudo	14/7/2021	10:37	56	3	0,0560	0,0030
5			14/7/2021	10:38	56	3		
6			14/7/2021	10:39	56	3		
7		Marranas	20/07/2021	3:33	113	6	0,0897	0,0053
8			20/07/2021	3:34	85	5		
9			20/07/2021	3:34	71	5		
10		390 FT3 Filtro que presuriza el silo de crudo	20/07/2021	3:18	42	3	0,1037	0,0063
11			20/07/2021	3:19	85	6		
12			20/07/2021	3:20	184	10		
13	Coke	Rechazo molino de coke	14/7/2021	10:48	42	2	0,0373	0,0023
14			14/7/2021	10:48	28	2		
15			14/7/2021	10:49	42	3		
25	Elevador	Elevador de Harina	14/7/2021	11:57	14	1	0,0280	0,0017
26			14/7/2021	11:58	28	2		
27			14/7/2021	11:59	42	2		
28	Elevador	Elevador 390 EC2	20/07/2021	3:21	71	4	0,0897	0,0053
29			20/07/2021	3:22	71	4		
30			20/07/2021	3:22	127	8		
31	Hormil Ed 2	Eje	11/08/2021	2:25	312	18	0,3927	0,0267
32			11/08/2021	2:25	412	25		

33			11/08/2021	2:26	454	37			
34		Separador 565 SP1	11/08/2021	2:28	213	13	0,1890	0,0110	
35			11/08/2021	2:29	184	10			
36			11/08/2021	2:30	170	10			
37			535 Banda BT1	11/08/2021	2:35	184			12
38		11/08/2021		2:36	85	6			
39		11/08/2021		2:36	99	7			
40		Transporte de cemento 565 EC1	11/08/2021	2:39	42	2	0,0373	0,0023	
41			11/8//2021	2:39	28	2			
42			11/08/2021	2:40	42	3			
43		565 DM1	11/08/2021	2:44	71	4	0,0563	0,0030	
44			11/08/2021	2:45	56	3			
45			11/08/2021	2:45	42	2			
46		Quebrador	Piso quebrador	12/08/2021	11:37	1619	55	1,5150	0,0533
47				12/08/2021	11:37	1250	15		
48	12/08/2021			11:38	1676	90			
49	Descarga volquete (sala de control del quebrador)		12/08/2021	11:48	3239	180	3,2723	0,1877	
50			12/08/2021	11:49	4049	234			
51			12/08/2021	11:50	2529	149			
52	Reclamador		12/08/2021	12:18	227	13	0,2647	0,0173	
53			12/08/2021	12:18	397	28			
54			12/08/2021	12:19	170	11			
55			12/08/2021	12:22	369	20	0,3310	0,0183	
56			12/08/2021	12:23	397	21			
57			12/08/2021	12:23	227	14			
58	Pre homo 1		12/08/2021	12:28	2358	121	3,6040	0,2267	
59			12/08/2021	12:29	4277	292			

60		211 BT4	12/08/2021	12:29	4177	267	1,5340	0,0870
61			12/08/2021	12:31	1463	80		
62			12/08/2021	12:31	1207	68		
63			12/08/2021	12:32	1932	113		
64		211 BT2	12/08/2021	12:34	2344	137	1,3447	0,0743
65			12/08/2021	12:34	781	41		
66	12/08/2021		12:35	909	45			
67	Zona de cemento	Rodillo	18/08/2021	10:36	241	9	0,1603	0,0087
68			18/08/2021	10:36	127	9		
69			18/08/2021	10:37	113	8		
70		Caída de cemento	18/08/2021	10:42	2515	148	2,6143	0,1420
71			18/08/2021	10:42	2856	131		
72			18/08/2021	10:43	2472	147		
73		Banda	18/08/2021	10:47	5499	386	4,1823	0,2547
74			18/08/2021	10:47	3524	183		
75			18/08/2021	10:48	3524	195		
76		Entrada al túnel de clinker	18/08/2021	10:56	4547	326	4,9967	0,3637
77			18/08/2021	10:57	5200	380		
78			18/08/2021	10:57	5243	385		
79			18/08/2021	10:59	2486	141	3,5093	0,2957
80			18/08/2021	10:59	4021	373		
81		18/08/2021	10:59	4021	373			
82		Túnel de clinker	18/08/2021	11:03	184	0	0,1177	0,0000
83			18/08/2021	11:03	42	0		
84			18/08/2021	11:04	127	0		
85	Horomil Ed 1	Entrada del silo de clinker	18/08/2021	11:20	1321	47	1,1030	0,0410
86			18/08/2021	11:20	1321	49		

87			18/08/2021	11:21	667	27		
88	CEPAL	G10 PTR	25/8/2021	9:43	1406	73	1,4157	0,0760
89			25/8/2021	9:44	1449	79		
90			25/8/2021	9:45	1392	76		
91		Piso 3	25/8/2021	9:55	2287	124	2,2920	0,1237
92			25/8/2021	9:55	2330	123		
93			25/8/2021	9:56	2259	124		
94		Salida de extractores (balcón)	25/8/2021	9:58	1406	77	1,4723	0,0820
95			25/8/2021	9:59	1676	92		
96			25/8/2021	9:59	1335	77		
97		Mismo piso pero adentro	25/8/2021	10:00	1648	92	2,3250	0,1083
98			25/8/2021	10:01	1406	28		
99			25/8/2021	10:04	3921	205		
100		Ensacadora	25/8/2021	10:04	2330	123	2,2227	0,1007
101			25/8/2021	10:05	2600	141		
102			25/8/2021	10:17	1738	38		
103		Acera, frente al silo 10	25/8/2021	10:17	2330	128	3,1777	0,1713
104			25/8/2021	10:18	4589	246		
105			25/8/2021	10:18	2614	140		
106	Despacho interno	25/8/2021	1:43	113	6	0,1367	0,0077	
107		25/8/2021	1:44	99	6			
108		25/8/2021	1:44	198	11			

Apéndice 14. Tareas realizadas por cada colaborador y ubicación geográfica en el muestreo de sílice respirable

Colaborador	Tareas	Zona
L-45	Tareas de inspección y limpieza	Molino de coke, Enfriador del horno, Torre, Sólidos Área de aceites
L-35	Tareas de inspección y limpieza	Torre, Sólidos, Áreas de molinos (molinos internos), Sólidos
L-167	Tareas de inspección, limpieza, bajando puzolana y yeso	Túnel de clínker, Tolvas molino 3, Piso de molino 3, Triple Alimentador correctivo, Reclamador, Molino 5, 592 BT2 BT4, Banda pesadora
L-29	Labores de mantenimiento	Quebrador primario
L-110	Limpiezas	Silo 4 y despacho interno
L-42	Limpiezas	Silo 1 y 4, Despecho interno
L-290	Trabajo rutinario ensacadora	CEPAL
L-54	Revisión y reparación	331 R3
L-266	Limpiezas y reparaciones	Torre de pre-calcinación
L-195	Cambio de bomba	Horomill
L114	Limpiezas y reparaciones	Horomill, molino 3
L-62	Limpiezas y reparaciones	zona de cemento

Apéndice 15. Tareas realizadas por cada colaborador y ubicación geográfica en el muestreo de MPR

Colaborador	Tareas	Zonas
L63	Limpiezas, revisiones rutinarias	Horomill Transporte de mezcla Puzolana Bajante del triple Silos internos Bandas de yeso
L115	Limpiezas en todas estas zonas	Enfriador Piso de la torre Tolva de coke Ventiladores del enfriador transporte de clínker
L215	limpiezas, en el enfriador se estuvo trabajando en un atasco, Estuvo sacando muestras	Grupo río Limpieza de sólidos Westeria Enfriador Piso 4 de la torre
L75	Todo el día como montacarguista	CEPAL
L83	Pruebas de equipos, la mayor parte de la jornada estuvo en el silo	CEPAL, silo 3
L159	Tareas rutinarias de inspección, limpieza y mantenimiento	CEPAL
L67	Tareas rutinarias de inspección, limpieza y mantenimiento	Horomill, molino 3, varios silos
L78	Tareas rutinarias de inspección, limpieza y mantenimiento	Horomill
L96	Limpiezas en todas estas zonas	Quebrador primario
L98	Torre, Horomill	Reparación del motor 431 V3 Calibración pfister
L104	Taller de lubricación Torre Enfriador BESTA Oficina	Revisiones, reparaciones, limpiezas y rutinas de inspección
L279	Torre Subestación, Alrededores 441 VE1 Piso 2 de la torre	Revisiones, reparaciones, limpiezas y rutinas de inspección