



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



SIVM
SIMPOSIO INTERNACIONAL
EN VENTILACIÓN DE MINAS

II SIMPOSIO INTERNACIONAL EN VENTILACIÓN DE MINAS DE SUDAMÉRICA

Del 29 de marzo al 02 de abril de 2021

“La ventilación en minas subterráneas incrementa la seguridad y la productividad”

Experiencias en el Control del Efecto Pistón en la Unidad Minera El Porvenir.

Daniel Naupari¹, Jorge Godos²

Nexa Resources El Porvenir S.A.C., danielnaupari@gmail.com, 984 770 842¹

Nexa Resources El Porvenir S.A.C., jorge.godos@nexaresources.com, 944 226 367²





Contenido

I.	Resumen.....	3
II.	Introducción.....	3
A.	Antecedentes	3
B.	Problema a Resolver.....	4
C.	Objetivos	5
D.	Alcances.....	6
III.	Método de Solución.....	6
A.	Métodos Húmedos	6
B.	Métodos Secos	7
1.	Compuertas y Cortinas.....	7
2.	Extractores Locales	7
3.	Nivel de Acumulación	8
4.	Circuito Independiente de Evacuación	8
5.	Cortos Circuitos Provocados	9
IV.	Resultados.....	10
A.	Métodos Húmedos	10
B.	Métodos Secos	10
1.	Compuertas y Cortinas.....	11
2.	Extractores locales.....	12
3.	Nivel de Acumulación	12
4.	Circuito Independiente de Evacuación	13
5.	Cortos Circuitos Provocados	14
V.	Conclusiones.....	15
VI.	Referencias y Fuentes Consultadas.....	15

I. RESUMEN.

El “Efecto Pistón” se presenta en minas de gran diferencia de cota en las cuales se cuenta con infraestructura de transferencia de material con comunicaciones en diversos niveles, debido a la velocidad con la cual se desplaza la carga a través de los ore passes se generan dos frentes de relevancia, uno de presión negativa antes de la carga y otro de presión positiva después de la carga, debido a esta presión inducida por el flujo de material se genera un flujo de aire inducido del ore pass hacia el nivel en operación el cual arrastra el polvo acumulado generando así una contaminación generalizada de los frentes de trabajo.

Debido a la necesidad operativa es necesario continuar con la operación en estos niveles razón por la cual es encomendado al área de ventilación tomar acciones que permitan minimizar el impacto del efecto pistón sobre las condiciones de trabajo para lo cual se ha implementado una serie de técnicas que permitan minimizar este impacto.

Entre las técnicas empleadas se implementó un método húmedo, mediante la implementación de un cañón nebulizador, el cual permitió aglomerar el polvo generado por el efecto pistón, sin embargo se generó un exceso de humedad sobre las condiciones ambientales.

Por otro lado se implementaron métodos secos, los cuales implicaron la instalación de ventiladores secundarios para evacuar el polvo generado, en primer lugar, a través de ductos con poca efectividad debido a la resistencia del ducto, en segundo lugar, como extractor secundario en un nivel contiguo inferior, operando a libre descarga generando una elevada acumulación de material particulado minimizando el impacto sobre el nivel en operación.

Finalmente se implementaron circuitos específicamente direccionados para el control de la polución generada, en primer lugar, en niveles contiguos a los niveles en operación y, como segunda alternativa, la implementación de corto circuitos provocados con el objetivo de capturar la polución en niveles directamente en operación.

II. INTRODUCCIÓN.

A. ANTECEDENTES

La unidad minera El Porvenir se caracteriza por ser una de las minas más profundas de Sudamérica, con una profundidad de más de 1.8km, contando con diversos niveles en producción los cuales se encuentran asociados a infraestructuras de gran envergadura que superan los 500 m de diferencia de cota.

Debido a las características del yacimiento y la coyuntura del precio de los metales se ha requerido de la reapertura a diversos niveles ya explotados para la recuperación de bloques de mineral recategorizados razón por la cual, se ha procedido a la apertura de diversas comunicaciones en los dos ore pass disponibles para la extracción de mineral.

Los ore pass actualmente en operación son el OP 2 y el OP 5, estos cuentan con una diferencia de cota de 745m y 930m respectivamente, contándose con un número de entre cinco y ocho comunicaciones abiertas en simultaneo en diferentes niveles.

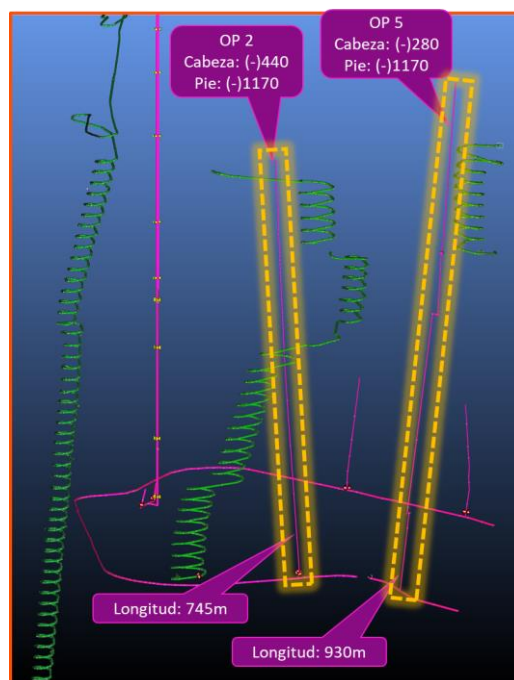


Ilustración 1: Vista General de los OP en la unidad minera El Porvenir.

B. PROBLEMA A RESOLVER

Debido a las características de la operación de los OP 2 y OP 5, a la inclinación de los mismo, y a la diferencia de cota entre los puntos de alimentación de carga se genera el conocido “Efecto Pistón”, el cual genera un flujo de aire forzado a través de una labor vertical u horizontal debido al movimiento de un cuerpo a alta velocidad.

En el caso del “Efecto Pistón” en minería, este se genera debido a la alta velocidad que adquiere la carga alimentada a los ore pass, debido a la aceleración de la gravedad, la cual induce un flujo de aire del el Ore Pass hacia los niveles comunicados, por debajo de la carga, zona de presión positiva, y en sentido contrario para los niveles por encima de la carga, zona de presión negativa.

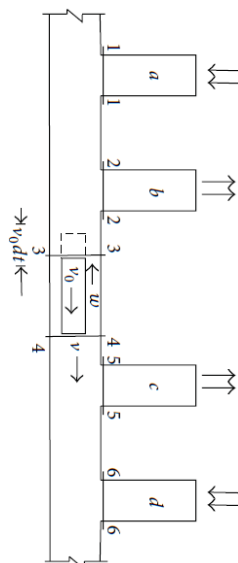


Ilustración 2: Modelo de Efecto Pistón en Túneles, rotado para echaderos (Song, y otros, 2013).



Ilustración 3: Comunicaciones en operación a los OP's.

Este flujo de aire forzado arrastra consigo una gran cantidad de polvo que fuga del ore pass hacia los niveles en operación introduciéndose al circuito de ventilación y contaminando así a todos los frentes de trabajo que se encuentren aguas abajo del circuito de ventilación.



Ilustración 4: Efecto Pistón con arrastre de material particulado.

Debido a lo anteriormente mencionado se hace necesario establecer estrategias que permitan controlar o minimizar la contaminación generada debido al “efecto pistón”, el cual tiene el potencial de generar incidentes de relevancia debido a efectos tan simples, como la pérdida de visibilidad por parte de los operadores, así como daños irreparables a la salud debido al potencial de incrementar los niveles de exposición continua al polvo inhalable y respirable, llegando a generar incomodidad en el personal que labora cerca a estos puntos de generación de contaminación, retrasando los ciclos de minado y comprometiendo así los correspondientes programas de producción.

C. OBJETIVOS

Los objetivos establecidos para el presenta trabajo de investigación son los siguientes:

- Objetivo Principal
 - o Establecer metodologías de control para minimizar el impacto generado por el efecto pistón sobre las condiciones termo-ambientales en una operación subterránea.
- Objetivos Secundarios
 - o Analizar el comportamiento del efecto pistón.
 - o Implementar metodologías de tipo húmedas para controlar la polución.

- Implementar metodologías de tipo secas para controlar la polución.

D. ALCANCES

Para lo cual se contará con los siguientes alcances:

- Implementar metodologías de control de la polución y evaluar su interacción con la operación.
- Implementar metodologías de control de la polución de tipo húmedas.
- Implementar metodologías de control de la polución de tipo secas.
- Evaluar la efectividad de los métodos húmedos y secos así como su impacto en la operación continua de minado.

III. MÉTODO DE SOLUCIÓN

A. MÉTODOS HUMEDOS

Una de las metodologías más ampliamente empleadas para el control de la polución en la fuente es el uso de sistemas de regado o aspersión que permitan evitar la dispersión del polvo generado durante las actividades de minado.

Debido a esto se procedió a aplicar un sistema de nebulización de alta eficiencia, mediante un cañón nebulizador en una de las comunicaciones en operación donde se evidenciaba una gran generación de polvo debido al efecto pistón.

Este sistema fue instalado en contra del flujo generado por el efecto pistón con el objetivo de incrementar la recirculación local y mejorar el proceso de aglomerado del polvo fugitivo.



Ilustración 5: Implementación de Cañón nebulizador en el piso.



Ilustración 6: Implementación de Cañón nebulizador en contra flujo.

B. MÉTODOS SECOS

Entre los métodos secos empleados para el control de la polución generada por el efecto pistón tenemos los siguientes:

1. COMPUERTAS Y CORTINAS

El uso de cortinas y compuertas es una de las técnicas naturalmente empleadas con el objetivo de lograr una interrupción de los flujos no deseados en un circuito de ventilación.

Debido a su interacción con los equipos en operación, se optó en primer lugar por el uso de cortinas de fajas que permitiesen un tránsito fluido de los scoop's sin la necesidad de retirar estos elementos durante el trabajo normal.

Como segunda alternativa, se optó por una opción más robusta, como son las puertas metálicas, sin embargo esta opción se encuentra más orientada a la interrupción del efecto pistón en los niveles inferiores que no se encuentran operando cuando los niveles superiores se encuentran alimentando mineral.

En ambos casos, las puertas y cortinas instaladas fueron de dimensiones considerables en proporción a los equipos empleados para la extracción de mineral.



Ilustración 7: Implementación de Compuerta para restringir el efecto pistón.

2. EXTRACTORES LOCALES

Considerando el impacto local que genera el efecto pistón sobre los niveles en los cuales se cuenta con comunicaciones a los Ore Passes, se consideró la instalación de ventiladores secundarios, laterales a las comunicaciones abiertas a los ore pass, que permitan dominar el flujo de aire contaminado, lográndose así una captura y evacuación de la polución a través de ductos de ventilación hacia salidas efectivas del circuito principal y secundario de la mina.

Para lo cual se empleó ventilador de 30 KCFM de capacidad acoplados a ductos de ventilación flexibles de 30" de diámetro.



Ilustración 8: Implementación de extractor local con evacuación a través de ducto.

3. NIVEL DE ACUMULACIÓN

Debido a que los ductos de ventilación, en el caso de longitudes considerables, pueden generar una elevada restricción afectando así al caudal de operación del ventilador además de presentar fugas, se consideró el uso de extractores locales en niveles contiguos fuera de operación de tal manera que el ventilador pueda trabajar a su máxima capacidad volumétrica.

Sin embargo es importante considerar que el caudal no debe ser muy alto en la galería de tal manera que permita una decantación del polvo en una longitud lo más corta posible.

Para lograr lo anteriormente indicado se hizo uso de un ventilador de 30KCFM de capacidad, instalado en un nivel contiguo al de operación, el cual se dejó en libre descarga en una galería de 5m de ancho por 4m de alto para lograr una velocidad de alrededor de 1.3m/s, adecuada para evitar un arrastre prolongado de partículas.



Ilustración 9: Implementación de extractor local con evacuación a libre descarga.

4. CIRCUITO INDEPENDIENTE DE EVACUACIÓN

Con el objetivo de eliminar por completo la dispersión de contaminantes generados por el efecto pistón, se implementó el uso de circuitos independientes asociados a la evacuación directa y efectiva de los contaminantes, este circuito fue implementado en un nivel contiguo al nivel en operación de tal manera que se genere una zona de baja presión en la cual se descargue y direcciona la polución generada por el efecto pistón.

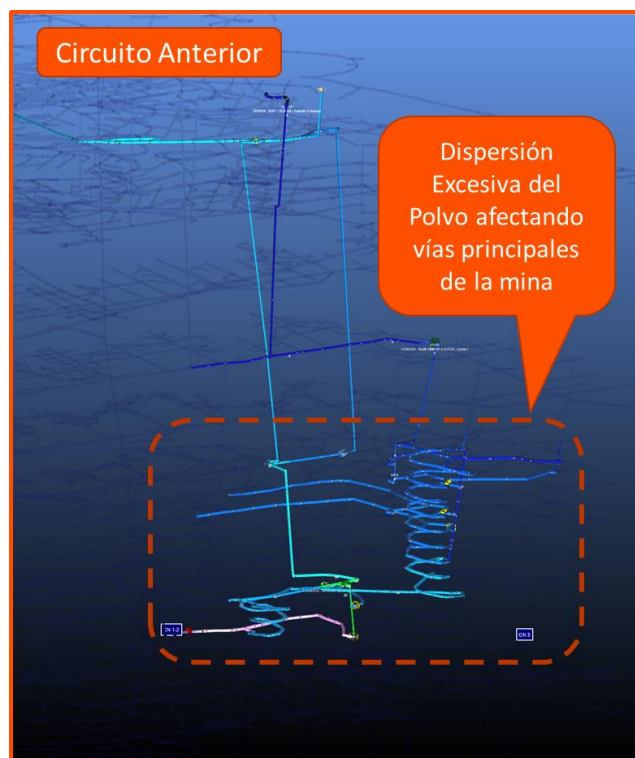


Ilustración 10: Circuito original con alta dispersión de contaminantes.

5. CORTOS CIRCUITOS PROVOCADOS

Los métodos anteriormente indicados se han caracterizado por contar con infraestructura disponible para la acumulación y evacuación de la polución, sin embargo cuando no se cuentan con esta infraestructura disponible se hace necesaria la implementación de un sistema de succión, a modo de corto circuito, que evite que la polución fugitiva ingrese hacia los subniveles en operación, en los cuales será finalmente repartida a los frentes de trabajo.

Para lograr lo anteriormente indicado, se llevó a cabo la construcción del proyecto “Aspiradora” el cual comunica entre el OP 5 y el subnivel principal y que además cuenta con un extractor secundario, de 50 KCFM de capacidad, que permita la correspondiente captura de los contaminantes.

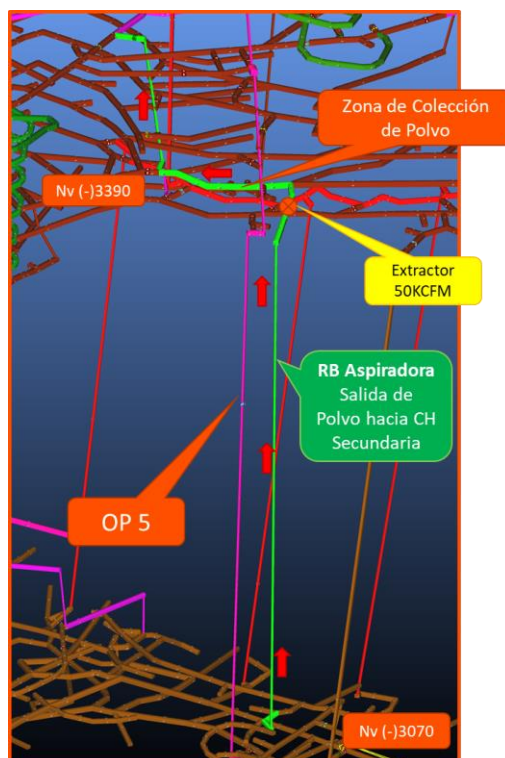


Ilustración 11: Corto Circuito Provocado para interrumpir el flujo de contaminantes en el nivel en operación.

IV. RESULTADOS

A. MÉTODOS HUMEDOS

Durante la aplicación del equipo nebulizador se pudo observar que la humedad generada por el equipo actuaba de manera directa sobre la polución generada, sin embargo, el flujo total generado por el efecto pistón finalmente se integra con el circuito de ventilación secundario de la mina hacia la zona de trabajo razón por la cual la humedad es trasladada hacia las zonas de trabajo, esto principalmente debido a las condiciones de trabajo en la cuales no se lleva a cabo un proceso de secado del aire en el corto plazo brindando así una sensación de exceso de humedad en el ambiente por parte del personal que laboraba en las inmediaciones de la instalación.



Ilustración 12: Exceso de humedad generado por el cañón nebulizador.

B. MÉTODOS SECOS

Los resultados obtenidos producto de la aplicación de los métodos secos anteriormente indicados fueron:

1. COMPUERTAS Y CORTINAS

Si bien las compuertas y cortinas lograron minimizar el impacto del flujo generado por el efecto pistón su efectividad se ve directamente relacionada a la disciplina operativa que es requerida para lograr una operación adecuada de las mismas.

En el caso de las cortinas, estas permiten un ingreso y salida de los equipos de manera fluida a la vez que se cuenta con una barrera que minimiza el flujo de aire generado por el efecto pistón, sin embargo su resistencia y efecto sobre los equipos no son las mejores ya que terminan siendo arrancadas por los equipos o generando golpes que dañan componentes del equipo (parabrisas, espejos, etc.), así mismo, en algunos casos, la presión generada por el efecto pistón puede ser tan elevada que la cortina puede ser fácilmente desplazada por el flujo de aire generado.

En el caso de las puertas, su elevado grado de hermetismo permite mantener restringido el flujo de contaminantes hacia el nivel, cuando estas se encuentran correctamente cerradas, sin embargo su rigidez y modo de operación termina jugando en contra ya que puede ser rápidamente golpeada por los equipos, quedando inutilizada y, como mínimo, perdiendo su hermetismo si es que no es arrancada por completo.



Ilustración 13: Puerta que no han sido cerradas en largo periodos de tiempo.



Ilustración 14: Puertas afectadas por equipos (izquierda) o por fin de operación (derecha).



Ilustración 15: Cortina afectada por la operación (izquierda) y puerta afectada por los equipos (derecha).

2. EXTRACTORES LOCALES

El uso de extractores locales, instalados en el mismo nivel de la comunicación a los Ore Pass, ha demostrado no ser una solución efectiva debido a que el flujo de aire generado por el efecto pistón superó ampliamente el caudal del ventilador, considerando que este se encuentra disminuido debido a la resistencia generada por el ducto de ventilación, además de la fuga generada a través de los ductos de ventilación.

Así mismo se manifiestan un desgaste prematuro del ventilador debido al desgaste permanente debido al flujo de material particulado.



Ilustración 16: Extractor local afectado por la alta concentración de polvo en el aire.

3. NIVEL DE ACUMULACIÓN

Los niveles de acumulación han demostrado ser un mecanismo efectivo de recolección de los contaminantes generados ya que en un corto periodo de tiempo se logró acumular una gran cantidad de material particulado, a la vez que se logró acelerar el flujo de retorno hacia el OP lo cual permitió minimizar el impacto de la contaminación generada por el efecto pistón, sobre el nivel en operación.

Debido a las dimensiones del nivel de acumulación, se evidenció una que la velocidad generada por el ventilador de 30KCFM fue lo suficientemente baja para lograr una decantación en una corta longitud.



Ilustración 17: Elevada acumulación de material particulado en los niveles de acumulación.

Sin embargo los efectos sobre el ventilador también deben ser considerados para evitar una paralización prematura del mismo.



Ilustración 18: Presencia de humedad por compresión y material particulado adherido al ventilador.

4. CIRCUITO INDEPENDIENTE DE EVACUACIÓN

Los circuitos independientes de evacuación de aire permitieron incrementar la efectividad del circuito minimizando la dispersión de contaminantes hacia zonas de trabajo, así mismo se facilitó el flujo continuo de aire contaminando hacia zonas sin operación.

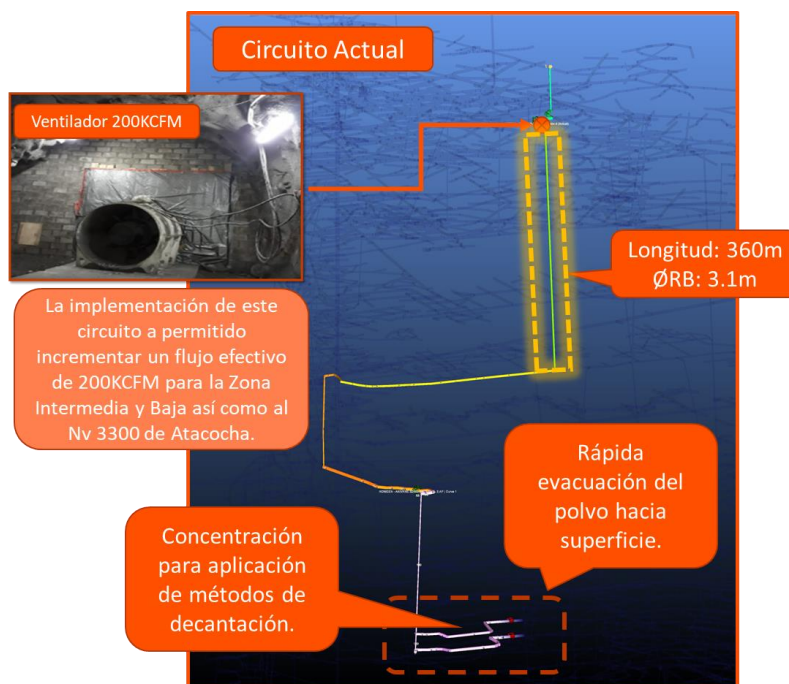


Ilustración 19: Circuito efectivo de evacuación del material particulado.

5. CORTOS CIRCUITOS PROVOCADOS

La implementación de cortos circuitos provocados permitió generar una evacuación directa del flujo de aire contaminado generado por el efecto pistón, sin embargo, fue necesario incrementar el caudal inicialmente planificado en 50 KCFM por un ventilador con un caudal de 100 KCFM, de tal manera que un gran porcentaje del flujo de aire generado por el efecto pistón sea trasladado al circuito de evacuación con una velocidad adecuada en la chimenea.



Ilustración 20: Acumulación de material particulado en el pie y la cabeza del proyecto "Aspiradora".

Sin embargo, son evidentes los efectos sobre el ventilador por lo que el mantenimiento del equipo deberá realizarse de manera frecuente para evitar un rápido daño prematuro del mismo.

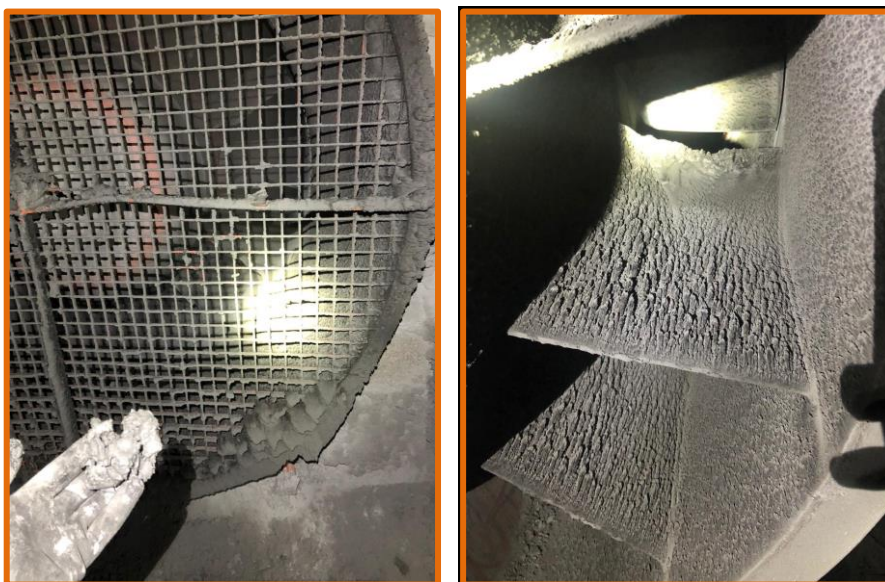


Ilustración 21: Acumulación de material particulado en el ventilador extractor del proyecto "Aspiradora".

V. CONCLUSIONES.

De acuerdo a lo anteriormente presentado podemos concluir que:

- El efecto pistón es un fenómeno de tipo intensivo razón por la cual se debe minimizar la cantidad de aberturas disponibles para minimizar su impacto sobre el sistema.
- Los sistemas de nebulización permiten humedecer el ambiente para facilitar la aglomeración del material particulado, sin embargo generan un exceso de humedad que debe ser tratado para lograr una solución efectiva.
- El uso de extractores locales puede ser una solución al efecto pistón siempre se logra un elevado caudal que acelere la restitución del flujo de aire que escapa de los ore pass.
- El uso de extractores locales debe ser complementado con niveles de acumulación de material particulado para evitar una dispersión sobre todo el circuito.
- El uso de sistemas independientes y específicos para la evacuación del material particulado generado por el efecto pistón es también una alternativa para la minimización del impacto generado por el efecto pistón.
- El uso de cortos circuitos provocados, directamente en los niveles en operación, permite lograr una solución de alta efectividad sobre el flujo de contaminantes generados siempre que se implemente la capacidad adecuada.

VI. REFERENCIAS Y FUENTES CONSULTADAS.

- Bugarski, A. D., Janisko, S. J., Cauda, E. G., Noll, J. D., & Mischler, S. E. (2011). *Diesel Aerosols and Gases in Underground Mines*. Pittsburgh: NIOSH.
- McPherson, M. J. (2009). *Subsurface Ventilation Engineering*. California: Chapman and Hall.
- Song, P., Li, F., Jiaping, L., Jingchao, X., Yuying, S., Na, C., . . . Binyang, Z. (2013). A Review of the Piston Effect in Subway Stations. *Advances in Mechanical Engineering*, 7.