PROCONM
TRANSPORTE LIMPIO

CRITERIO PARA DISMINUIR EMISIONES DE MP10 Y CUMPLIR CON NORMATIVA VIGENTE

Efraín Bozo Godoy
Gonzalo Bozo Nalli

Septiembre 2023

PROCONM

CRITERIO PARA DISMINUIR EMISIONES DE MP10 Y CUMPLIR CON NORMATIVA VIGENTE

Tabla de Contenido

1.0 INTRODUCCIÓN 2

2.0 MARCO REGULATORIO 2

3.0 MATERIAL PARTICULADO Y SUS EFECTOS 3

4.0 VELOCIDAD TERMINAL O LÍMITE 4

5.0 SISTEMAS DE CONTROL DE POLVO 6

5.1 Prevención o humectación de colpas 6
5.2 Confinamiento Pasivo y Mixto 6
5.3 Extracción 7
5.4 Descarga del Polvo desde el Filtro de Mangas 7
5.5 Supresión 8

6.0 ESTRATEGIA 9

7.0 ALGUNAS PROPUESTAS PARA APLICAR LA ESTRATEGIA 9

7.1 Trayecto desde la mina hasta zona de descarga al chancador 9
7.2 Descarga de Camión 10
7.3 Tolva de Compensación 11
7.4 Transferencia Alimentador / Correa Transportadora 12
7.5 En Correas Transportadoras Transporte Mineral Chancado 13
7.6 En Correas Transportadoras de Pebbles 14

8.0 DECRETOS Y REFERENCIAS 15

PROCONM

1.0 INTRODUCCIÓN

Existe claridad de que con el actual estado del arte no es posible tener éxito real en disminuir el material particulado respirable que afecta la salud y al medio ambiente.

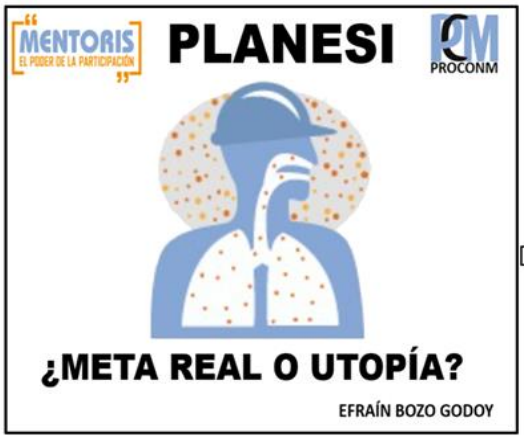
En el presente documento se entrega un criterio algo diferente a lo que se hace habitualmente, basado en conceptos físicos sólidos y en concordancia con lo que han expuestos otros especialistas en control del polvo

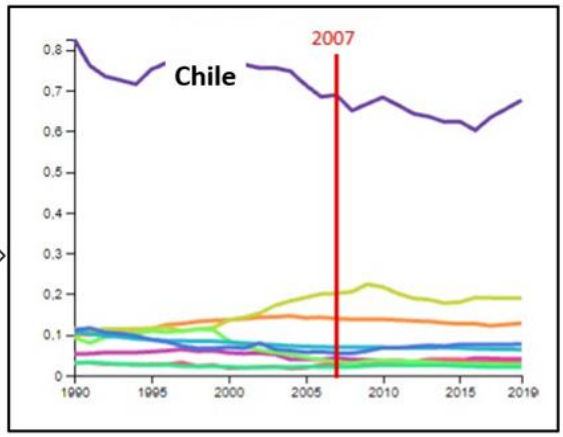
2.0 MARCO REGULATORIO

La normativa nacional que establece el marco regulatorio o LPP (límite permisible ponderado) para los diferentes tamaños de partícula es:

- MPS. Polvo total no especificado o material particulado sedimentable, el LPP es definido en el DS 594 [3]
- MP10. Material particulado inferior a 10 micrones, el límite diario y anual es regulado por el DS 12 [1]
- MP5. Material particulado fracción respirable inferior a 5 micrones, el LPP es definido en el DS 594 [3]
- MP2,5. Material particulado inferior a 2,5 micrones, el límite diario y anual es regulado por el DS 12 [2]
- PLANESI [9]. Compromiso nacional para erradicar la silicosis el año 2030. Estudio y presentación de Proconm [6] muestra que no se ha logrado avance en nuestro país.

PROCONM





3.0 MATERIAL PARTICULADO Y SUS EFECTOS

Polvo o material particulado es la dispersión de partículas sólidas en el ambiente. Podemos dividirlo en dos grupos: MP10 y MPS.

MP10 es el material particulado inferior a 10 micrones, no sedimentable, que:

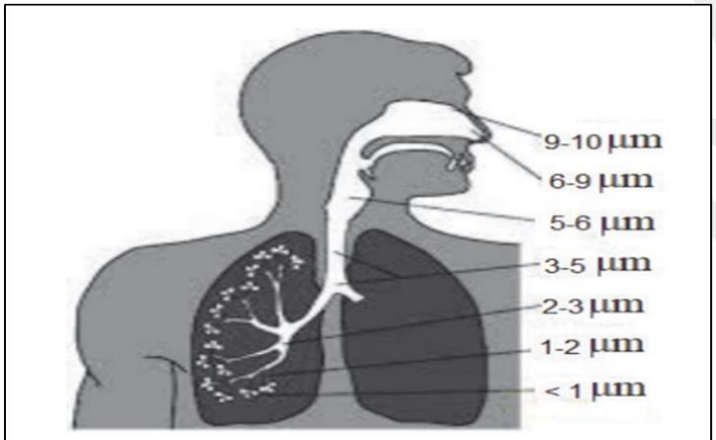
- Contamina poblados aledaños o cercanos
- Perjudica la salud de los trabajadores durante todo el proceso y transporte
- En la flotación disminuye la recuperación

MP5 es el material particulado que llega a los pulmones y le da el carácter de silicógeno al ambiente laboral.

Polvo silicógeno: MP5 con 1% o más de sílice libre cristalizada de cuarzo o dióxido de silicio SiO2.

MP2,5 es el material particulado inferior a 2,5 micrones que llega a los conductos más pequeños del pulmón, los alveolos, por consiguiente, son de mayor riesgo.

MP15 o ultrafino es el material particulado inferior a 15 micrones. Este es un tamaño nominal que varía dependiendo del mineral, que afecta la recuperación en el proceso de flotación. Contiene la fracción MP10 que afecta la salud.



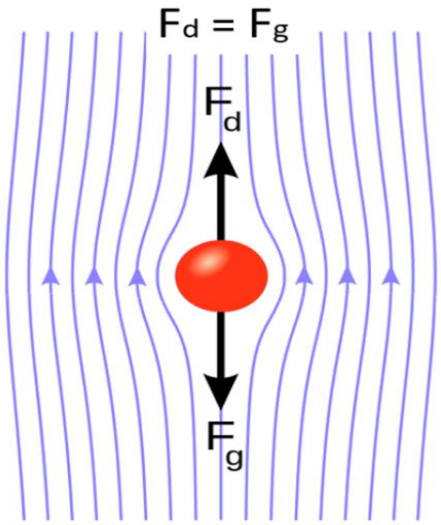
Tamaños de particulado en el sistema respiratorio

MPS es el particulado mayor a 10 micrones y menor a 100 micrones. Dependiendo de su tamaño y de la velocidad del viento puede sedimentar a metros o kilómetros del lugar de emisión afectando terrenos aledaños o distantes. La mayor parte de este particulado se requiere en el proceso, generalmente tiene mayor ley.

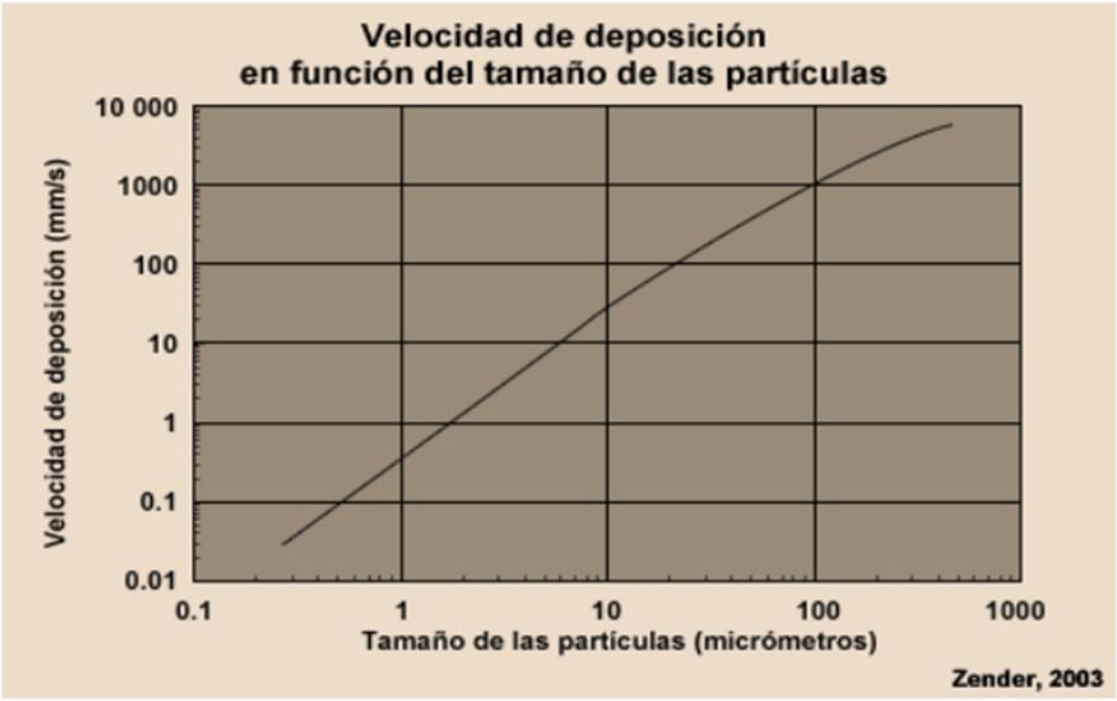
Polvo visible es el mayor a 40 micrones. Como referencia el cabello humano tiene un espesor aproximado de 80 micrones.

4.0 VELOCIDAD TERMINAL O LÍMITE

La velocidad terminal o límite es la velocidad máxima que alcanza un cuerpo moviéndose en el aire bajo la acción de la gravedad. Es decir, cuando la aceleración es cero o la resistencia del aire iguala a la gravedad.



Para obtener la Velocidad Límite (VL) por tamaño de partícula para flujo turbulento, un método preciso es este gráfico publicado por COMET [4], obtenido del estudio de Zender [5].



Este gráfico muestra que una partícula de 10 micrones requiere una velocidad de 0,03 m/s (0,11 km/h) para mantenerse en suspensión. Por ese motivo, el MP10 es considerado como “no sedimentable”. Es decir, se mueve con el aire y es invisible.

5.0 SISTEMAS DE CONTROL DE POLVO

5.1 Prevención o humectación de colpas

La Prevención consiste en humectar sólo la superficie del mineral para mojar sólo las colpas. Esto permite aumentar la adhesión de los finos sobre las colpas y crear las condiciones para que otros finos se adhieran a las colpas húmedas. favoreciendo su control en el lugar y aguas abajo. Además, facilita el flujo másico en las tolvas y en los acopios.

5.2 Confinamiento Pasivo y Mixto

Confinamiento pasivo es el sellado de una transferencia o correa para evitar fugas y para facilitar la recirculación del aire inducido, lo que permite disminuir el flujo a extraer. Es lo que se denomina control pasivo del polvo.

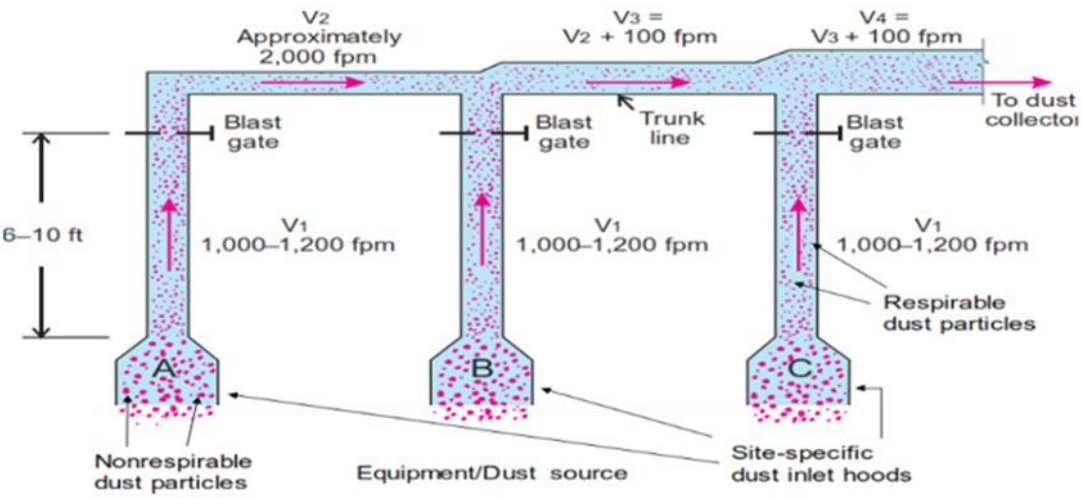
Confinamiento activo es el sellado utilizando energía, puede ser con agua o aire o una combinación de ambas.

Confinamiento mixto es confinamiento pasivo más activo.

PROCONM

5.3 Extracción

Para la extracción, se propone un sistema modificado de baja velocidad definido por la norma NIOSH: Modified Low-Velocity (MLV) system [12]. Este sistema elimina todo riesgo de colapso por rotura de codos o acumulación de material en ductos horizontales. Al no transportar partículas de mayor tamaño, la cantidad de polvo que llega al filtro de mangas es muy inferior al del sistema tradicional.



Fuente: Dust Control Handbook for Industrial Minerals Mining and Processing. NIOSH

5.4 Descarga del Polvo desde el Filtro de Mangas

El polvo filtrado no debe descargarse sobre la correa dado que se volverá a levantar, especialmente el MP10, o contaminará más adelante. Por el mismo motivo no puede retirarse como tal hacia el botadero ni siquiera húmedo, ya que el MP10 se irá al ambiente aportando a la contaminación. Esto es, gastar energía para que todo siga igual. El polvo tiene dos opciones de tratamientos:

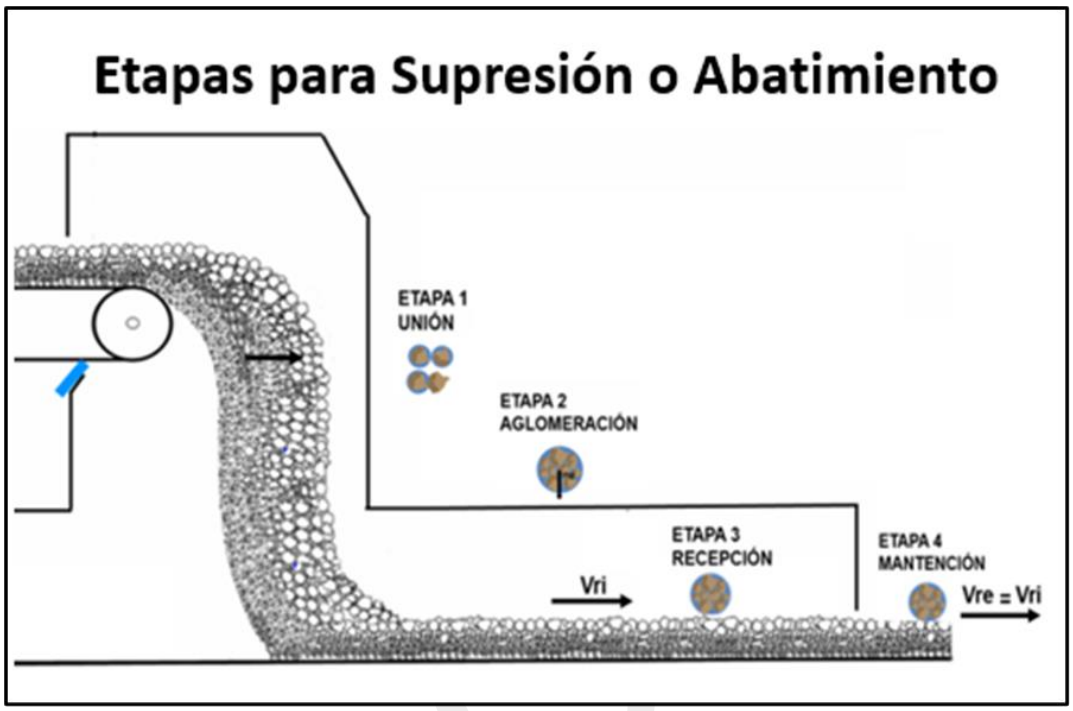
- Granulación húmeda con algún fijador para aumentar la cohesión y no contamine en el botadero o tenga la opción de ir al proceso
- Granulación seca por compactación para enviar al botadero. Pero, principalmente, esta opción algo innovadora, debe se ensayada en laboratorio para devolver al proceso sin posibilidad que el MP10 vuelva a su estado original.

5.5 *Supresión*

La supresión también llamada abatimiento es un proceso de granulación húmeda. En una transferencia entre correas existen 4 etapas , cada una con una eficiencia asociada. Estas son:

- **Etapa de unión** entre una gota con una partícula del mismo tamaño.
- **Etapa de aglomeración** de las uniones, para formar un gránulo o un aglomerado que debe ganar peso para caer o abatirse.
- **Etapa de recepción.** La superficie a la cual se deposita el gránulo debe ser receptora. Esto es, debe tener una velocidad relativa igual o inferior a la velocidad terminal y deseable que esté húmeda.
- **Etapa de mantención** del gránulo sobre la superficie del material. Si la velocidad relativa a la salida de la gualdera es mayor que la interior, los gránulos se desprenderán de la superficie del material.

PROCONM



6.0 ESTRATEGIA

La estrategia propuesta es mantener en el sistema todo el material particulado mayor que 15 micrones y extraer tempranamente, la mayor cantidad posible, de MP15 para compactarlo y convertirlo en gránulos o pellets [8] y botarlos en esa condición o que estos gránulos retornen al sistema si pruebas de laboratorio le dan sustento.

7.0 ALGUNAS PROPUESTAS PARA APLICAR LA ESTRATEGIA

7.1 Trayecto desde la mina hasta zona de descarga al chancador

Se recomienda aplicar prevención o humectación superficial, deseable inmediatamente después de la carga del camión o LHD. Esta humectación superficial se puede realizar con una estación para aplicación tipo diluvio o con cañones humectadores.



7.2 *Descarga de Camión*

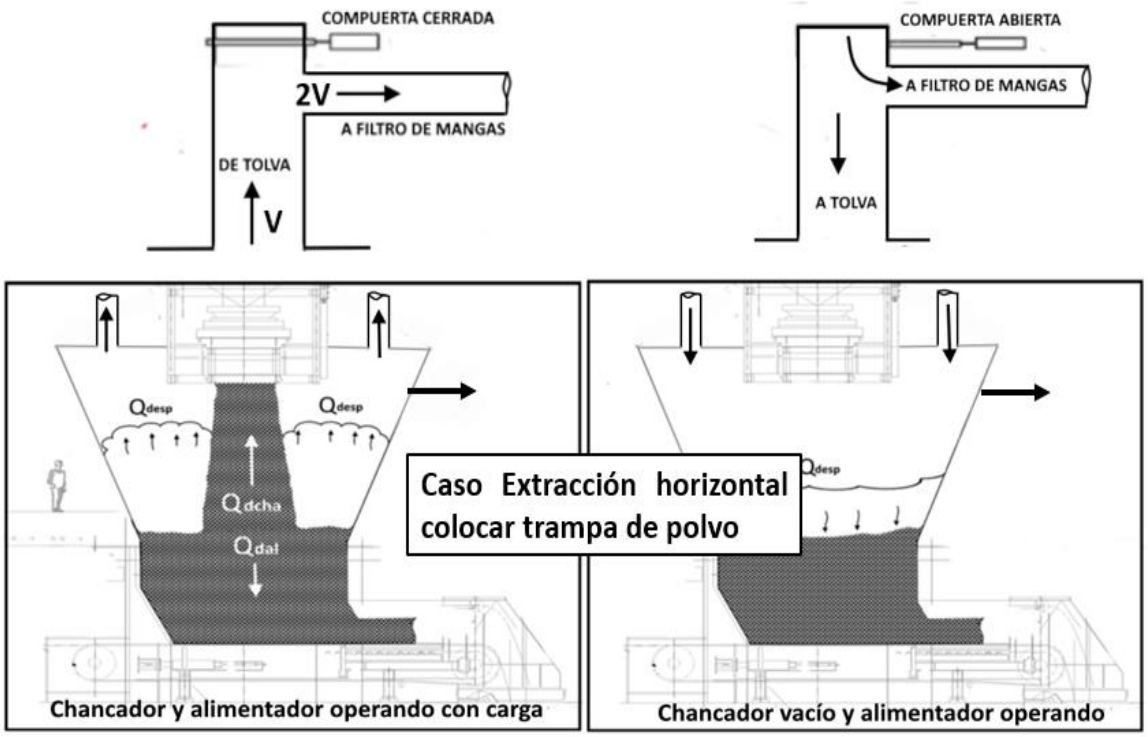
En esta zona, se recomienda un confinamiento mixto. Esto es, sumarle a la tolva una cortina de agua, agua-aire o aire. Este proceso no dura más allá de 30 segundos.



7.3 *Tolva de Compensación*

Este es el lugar indicado para extraer la mayor cantidad de ultrafino, el que viene de la mina y el generado o liberado por el chancador primario. Para la extracción, se debe tener presente el fenómeno físico que ocurre con el aire al interior. Cuando el chancador está operando con carga, el nivel de la tolva sube desplazando aire hacia la parte superior. Por el contrario, cuando sólo opera el alimentador, el nivel de la tolva baja y este volumen debe ser reemplazado por aire desde el exterior.

En la imagen se entrega una propuesta que se hace cargo del fenómeno físico, permite la operación continua del sistema extractor y elimina riesgo de provocar vacío al interior de la tolva. La extracción debe realizarse con el método MLV de NIOSH.

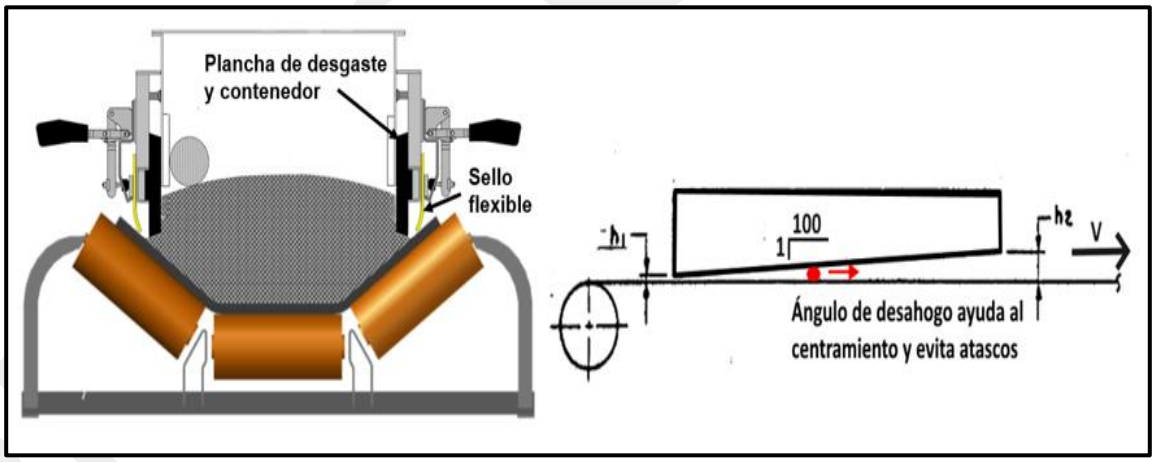


7.4 *Transferencia Alimentador / Correa Transportadora*

Control pasivo del polvo en transferencia. La gualdera es un lugar muy complicado de confinar longitudinalmente. Proconm tiene patentado un tipo de gualdera [10] que cumple dos importantes postulados. Estos son:

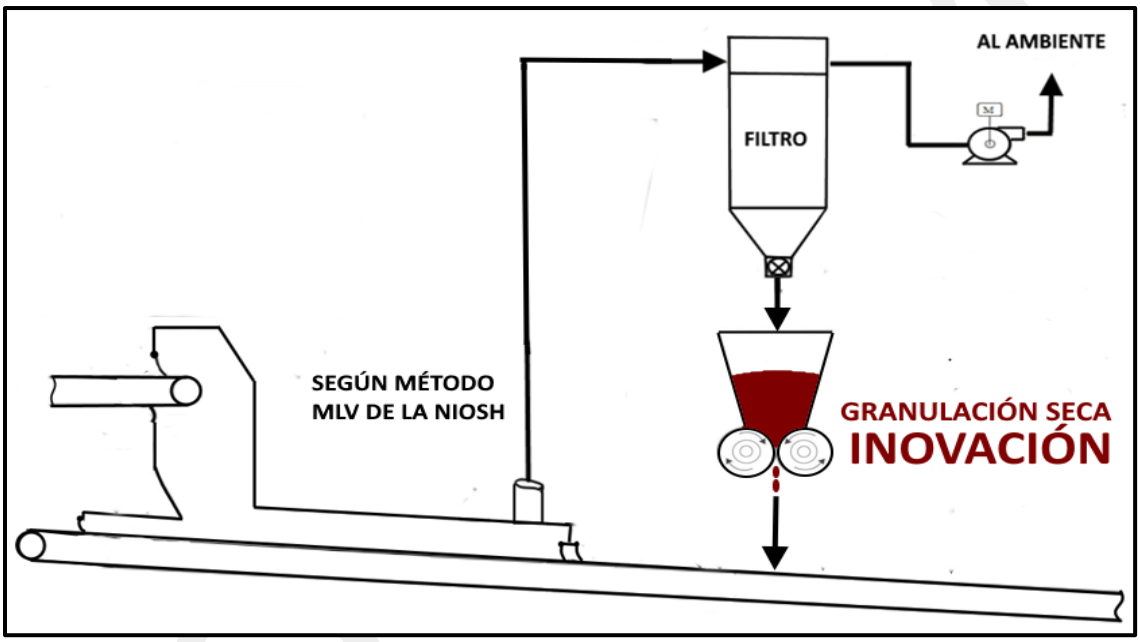
1. Sobre el sello no debe existir material a presión
2. Debe existir un ángulo (de desahogo) que permita la liberación de colpas atrapadas entre la gualdera y la cinta

En reunión del Comité del CEMA realizado el año 2017 [11], se definen los mismos postulados ya registrados por Proconm en su patente, que se muestra en la siguiente imagen:



Extracción y retorno con granulación seca. El control pasivo permite disminuir considerablemente el flujo a extraer en la transferencia, esto es muy positivo para la aplicación del método MLV de NIOSH [12].

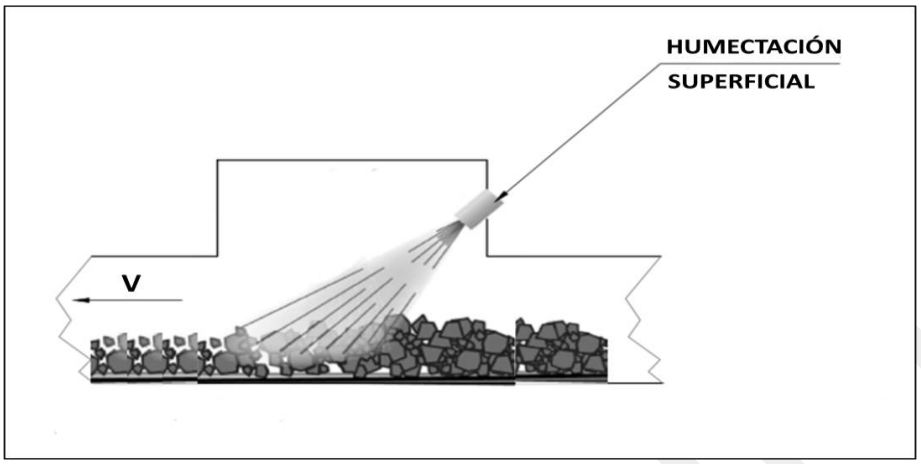
El gran problema es que hacemos con el polvo sin afectar aguas abajo o el depósito. La propuesta es aumentar su tamaño (proceso inverso a la conminución) compactando el polvo con rodillos y convertirlo en gránulos. A continuación, se muestra un esquema de un posible sistema de granulación seca.



Se desconoce aplicación de la granulación seca en minería. Sin embargo, es utilizado en la industria farmacéutica, siderurgia, alimenticia, carbón, etc.

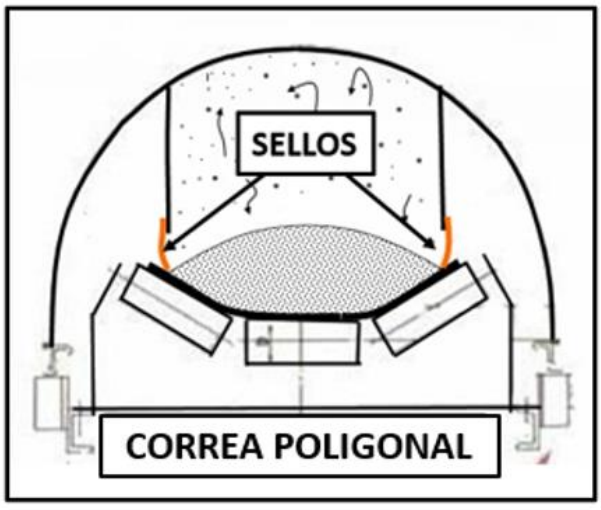
7.5 *En Correas Transportadoras Transporte Mineral Chancado*

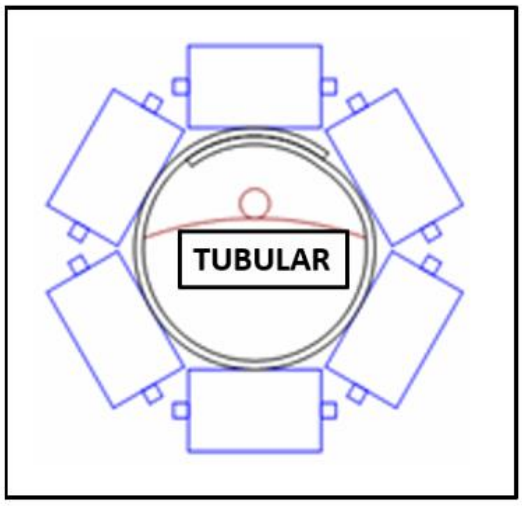
Sobre estas correas es necesario aplicar la prevención. Es decir, humedecer la superficie del mineral transportado con adición de surfactante. En correas largas se puede requerir más de un humectador. La posición de las boquillas debe ser la recomendada en la norma NIOSH [12] para aumentar la eficiencia de humectación.



7.6 *En Correas Transportadoras de Pebbles*

Confinamiento pasivo. Los pebbles que salen del SAG viene húmedos. Sin embargo, a medida que se transporta el mineral, su superficie se va secando y el MP10 se libera y se va al ambiente. Para impedir que suceda es necesarios cubrir herméticamente la correa transportadora y humedecer las zonas que se van secando. Es aplicable en el transporte de concentrado en reemplazo de la correa tubular.





8.0 DECRETOS Y REFERENCIAS

Los decretos y referencias en color azul se encuentran disponibles o se puede acceder a ellos desde nuestra página web.

https://proconm.com

[1] Decreto 12. Establece Norma Primaria de Calidad Ambiental para Material Particulado Respirable MP10. Publicado el 04 de junio del 2022 por el Ministerio del Medio Ambiente.

[2] Decreto 12. Establece Norma Primaria de Calidad Ambiental para Material Particulado Respirable Fino MP2,5. Publicado el 09 de mayo del 2011 por el Ministerio del Medio Ambiente.

[3] Decreto 594. Aprueba Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo. Publicada el 29 de abril del 2000 por el Ministerio de Salud.

[4] El Polvo Atmosférico. Publicado por COMET, Cooperative Program for Operational Meteorology, Education and Training de USA.

[5] Mineral Dust Entrainment and Deposition (DEAD) Model: Description and 1990s Dust Climatology. Publicado el 2003 en el Journal of Geophysical Research por: Charles S. Zender, Huisheng Bian, and David Newman

[6] PLANESI Meta Real o Utopia.pdf Trabajo de Investigación y presentación realizada por Proconm el año 2021 en Viña del Mar en congreso organizado por Mentoris.

[7] Droettboom, M. (2020, 29 abril). Transfer Chutes: Predicting Dust Emissions by Multiphase CFD and Coupled DEM-CFD Simulations. Bulk-Blog.

[8] Alternativas para Controlar y Mitigar la Generación de Polvo en Chutes de Traspaso y Stock piles, presentación realizada por Francisco Cabrejos, TransBelt 2023 en Viña de Mar

[9] Plan Nacional para la Erradicación de la Silicosis 2009-2030, MINSAL

[10] SEAA: Sistema de Encerramiento Anti-Atascos para Gualderas. Invento desarrollado por Proconm para resolver problema de atascos entre la cinta y la gualdera. Con patente registrada el año 2020

[11] Agenda of the CEMA Engineering Conference Bulk Conveyor Accessories Committee Meeting. Publicado por CEMA el año 2017.

[12] Dust Control Handbook for Industrial Minerals Mining and Processing. Publicado por la norma NIOSH.

PROCONM