



TÉCNICA PARA EL CONTROL PASIVO DEL POLVO

Efraín Bozo Godoy
Gonzalo Bozo Nalli

Mayo 2024

TÉCNICA PARA EL CONTROL PASIVO DEL POLVO

Tabla de Contenido

1.0	INTRODUCCIÓN	2
2.0	DEFINICIÓN	2
3.0	CAMPO DE APLICACIÓN	3
4.0	DEFINICIONES DE POLVO Y PARTICULADO	3
5.0	VELOCIDAD TERMINAL O LÍMITE	4
6.0	MOVIMIENTO DEL AIRE	5
6.1	General	5
6.2	Aire desplazado	6
6.3	Aire Generado o Ingresado	6
6.4	Aire Inducido	7
7.0	TÉCNICA PARA EL CONTROL PASIVO DEL POLVO	9
7.1	Transferencia ente Correas Transportadoras	9
7.2	Descarga de Camión	13
7.3	Correas Transportadoras	15
7.1	Tolva	16
8.0	REFERENCIAS	17

1.0 INTRODUCCIÓN

El control pasivo del polvo en las transferencias entre transportadores, o chutes, es fundamental para reducir significativamente el flujo de aire contaminado en la gualdera. Este documento presenta una técnica específica para el control pasivo del polvo, utilizando diseños exclusivos desarrollados por Proconm. La implementación eficiente de esta técnica permitirá minimizar las emisiones de polvo fugitivo sin consumir energía, protegiendo la salud de las personas y el medio ambiente.

2.0 DEFINICIÓN

Control pasivo. El control pasivo del polvo es una técnica que permite disminuir las emisiones del material particulado que se va al ambiente o polvo fugitivo sin consumir energía, que consiste en confinar y/o sellar el lugar en el cual se almacena o transporta el material.

Control activo. El control activo del polvo es una técnica que permite disminuir las emisiones del material particulado que se va al ambiente o polvo fugitivo con consumo de energía. Los más conocidos: sistema de extracción, supresión y cortinas de agua o aire.

Control mixto. Es una combinación de sistema pasivo con uno mixto. La gran mayoría de los sistemas de control existentes son mixtos.

3.0 CAMPO DE APLICACIÓN

El campo de aplicación es el transporte y almacenamiento de material sólido a granel que tiene el potencial de emitir polvo o material particulado que afecta la salud de las personas y el medio ambiente.

4.0 DEFINICIONES DE POLVO Y PARTICULADO

Polvo o material particulado es la dispersión de partículas sólidas en el ambiente.

PM10 o fracción inhalable es el material particulado inferior a 10 micrones, no sedimentable, no llega a los pulmones.

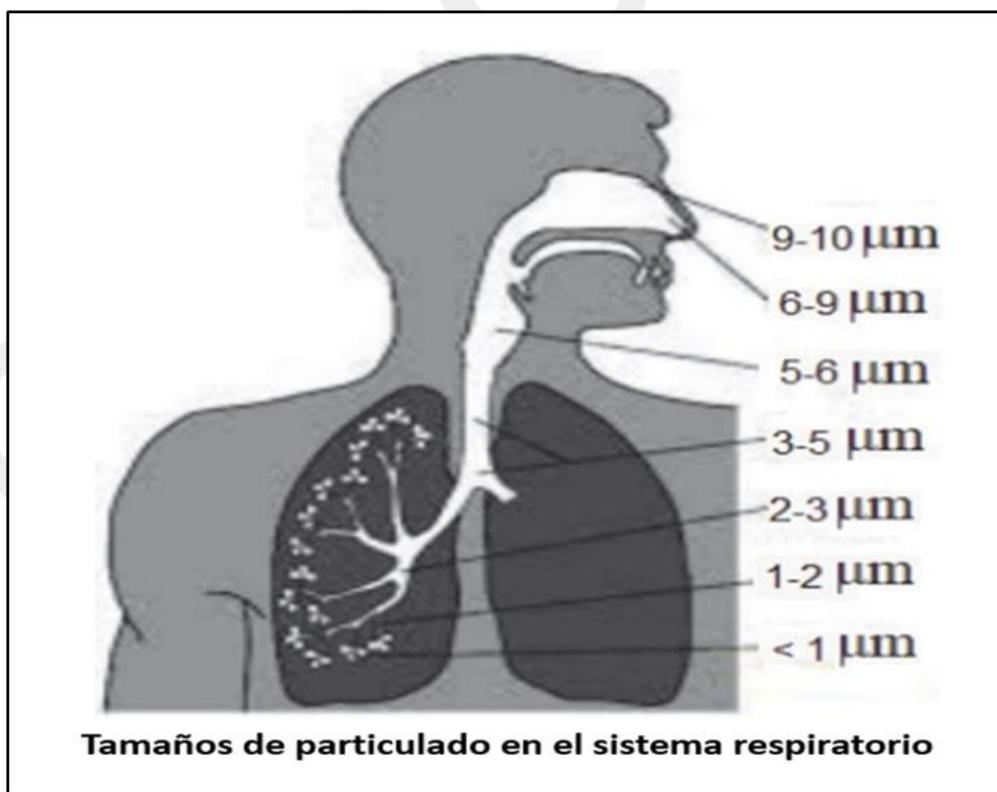


Figura 1. Menor tamaño de partícula, mayor riesgo para la salud

PM5 o fracción respirable es el material particulado que llega a los pulmones y le da el carácter de silicógeno al ambiente laboral.

Polvo silicógeno. PM5 con 1% o más de sílice libre cristalizada de cuarzo o dióxido de silicio SiO₂.

PM2,5 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

TSP o PM100 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.

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

5.0 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 [1], obtenido del estudio de Zender [2].

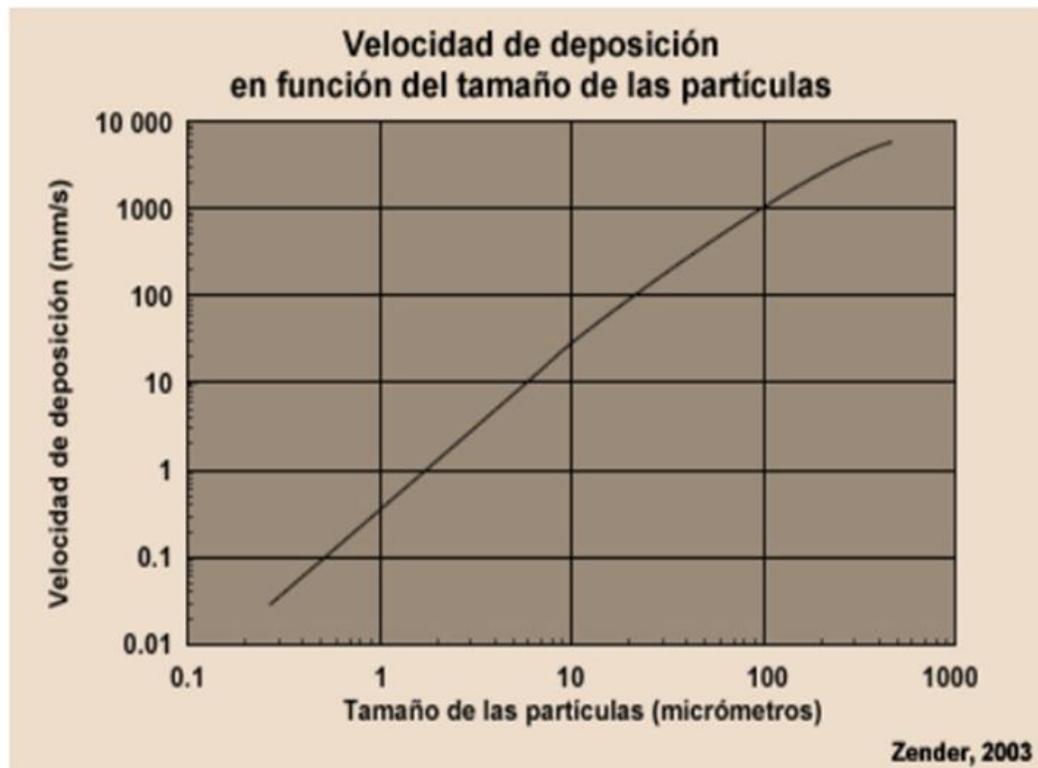


Figura 2. Diagrama de COMET para velocidades límites

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” Ya que requiere de pequeñas velocidades del aire para mantenerse en suspensión además de ser invisible.

6.0 MOVIMIENTO DEL AIRE

6.1 General

Conocer el movimiento del aire con relación al flujo de material es fundamental para controlar y minimizar el polvo fugitivo (que se va al

ambiente). En una transferencia de material es posible encontrar tres movimientos de aire:

- Aire desplazado
- Aire generado o ingresado por equipos
- Aire inducido

6.2 Aire desplazado

El aire desplazado es el principio de Arquímedes aplicado al flujo. Esto es:

$$Q_{dis} = (0.277 \cdot R) / \rho$$

Q_{dis} : Aire desplazado, en m^3/s

R: Flujo transportado, en t/h

ρ : Densidad aparente, en $kg/m^3/h$

El aire desplazado está presente principalmente en tolvas y acopios de mineral. Se debe canalizar para que se vaya limpio o filtrado al ambiente cuando sube el nivel del material y permitir ingreso de aire cuando baja el nivel.

6.3 Aire Generado o Ingresado

Este aire es generado por chancadores por diferencia de densidad o tamaño y por el efecto ventilador en el caso del chancador giratorio. Observaciones en terreno, muestran que este efecto ventilador hace recircular el aire en la zona de descarga de camiones.

El aire ingresado desde el exterior corresponde, principalmente, al aire proveniente de sistemas de supresión de polvo.

6.4 Aire Inducido

El aire inducido está presente en toda transferencia de material. Según la norma NIOSH [3] y la publicación de Martin Engineering [4], el aire inducido representa el fenómeno físico que ocurre en una caída de material a granel. Esto es, el material al caer se abre y deja intersticios con presión negativa o vacío en el lugar que antes ocupaba, lo que provoca que el aire circundante sea atraído hacia ese vacío para llenarlo, es lo que se denomina aire absorbido, Q_{ab} . Cuando el material impacta libera todo este aire arrastrado en la trayectoria, que se define como aire inducido, Q_{ind} .

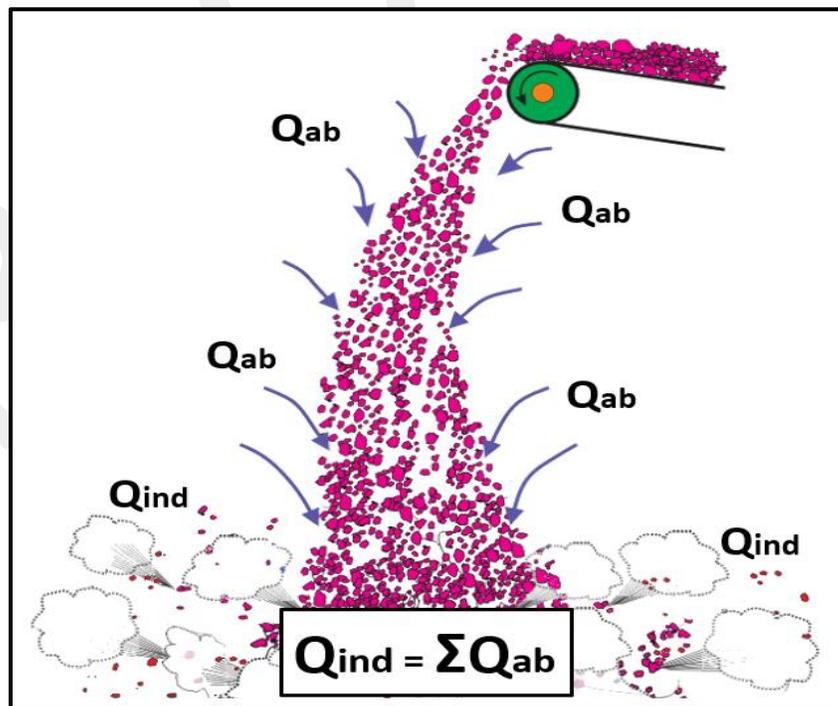


Figura 3. Esquema de la norma NIOSH para el aire inducido [3]

La ecuación de D. Anderson [5] para aire inducido o aire a extraer en un ambiente confinado es:

$$Q_i = k \cdot A_u \sqrt[3]{(R \cdot S^2 / D)}$$

Qi: Flujo aire inducido y a extraer. En m³/s

K: factor de conversión = 0,078

Au: Área abierta en la parte superior del chute o área inducida, en m²

R: Flujo de material, en t/h

S: Altura de caída libre del material, en m

D: Diámetro promedio del material (P50), en m

Para disminuir el aire a extraer, la única variable que se puede controlar en esta ecuación es el área inducida. Esto es, disminuir el área inducida es disminuir el aire a extraer y disminuir el polvo fugitivo. Es lo que se llama **control pasivo del polvo**.

La ecuación de Anderson es una simplificación de la ecuación de Richard Dennis [6], que utilizó como correa receptora una bandeja sellada longitudinalmente y sin posibilidad de salida de aire por la parte posterior. Por consiguiente, el **control pasivo del polvo** incluye un sellado eficiente de la gualdera longitudinal y transversalmente en la parte posterior.

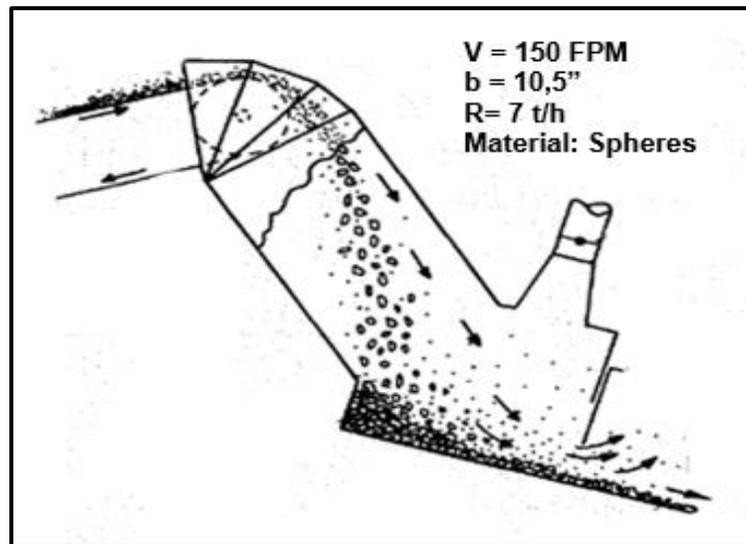


Figura 4. Esquema del modelo utilizado por Richard Dennis [6]

7.0 TÉCNICA PARA EL CONTROL PASIVO DEL POLVO

7.1 Transferencia entre Correas Transportadoras

General. En una transferencia entre transportadores, el aire desplazado se encuentra presente en los segundos que demora el llenado en la zona de la gualdera de la correa receptora. Por consiguiente, sólo se tiene aire inducido.

La técnica del control pasivo tiene como objetivo sellar la parte superior e inferior de chute para facilitar la recirculación del aire inducido.

Para que exista recirculación, no basta sólo el sellado de la transferencia, sino que el chute y la gualdera deben estar diseñados para eliminar todo riesgo de atollo.

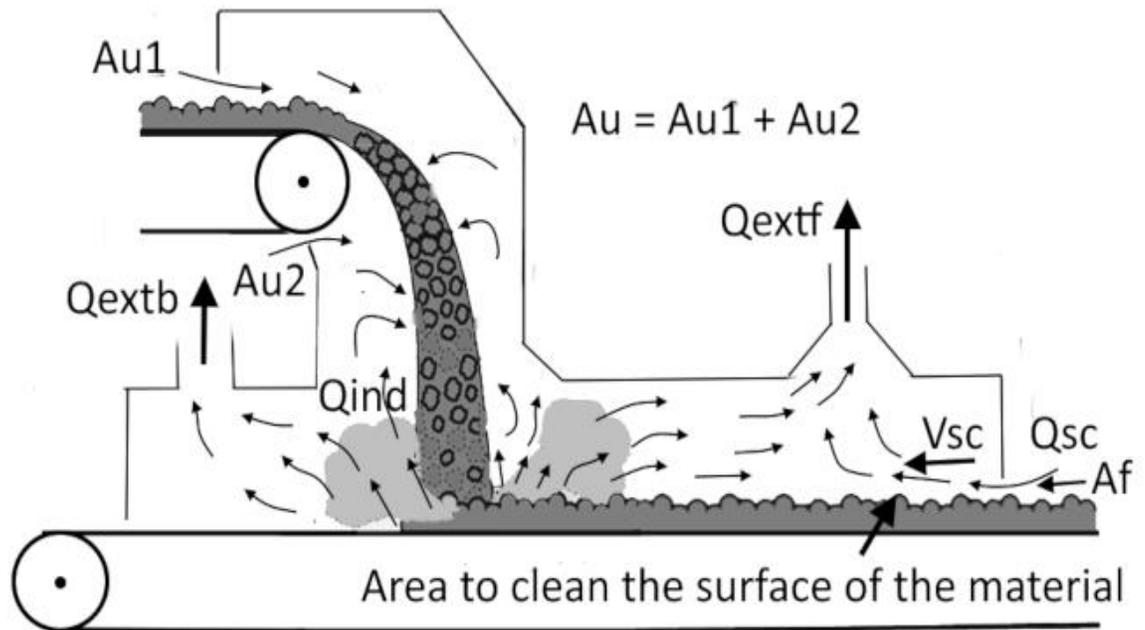


Figure 5. Control pasivo es facilitar recirculación del aire inducido

Sello longitudinal. Desde el año 2015, Proconm tiene patentado un tipo de sello longitudinal [7] que cumple dos importantes postulados:

1. Sobre el sello no debe existir material a presión
2. No debe existir riesgo de atascos permanentes de colpas entre la cinta y la gualdera.

En reunión del Comité del CEMA realizado el año 2017 [8], se definen los mismos postulados ya registrados por Proconm. Un sello más desarrollado con este concepto permite colocar la plancha de desgaste por el exterior, lo que facilita se inspección y recambio, que se muestra en la siguiente imagen:

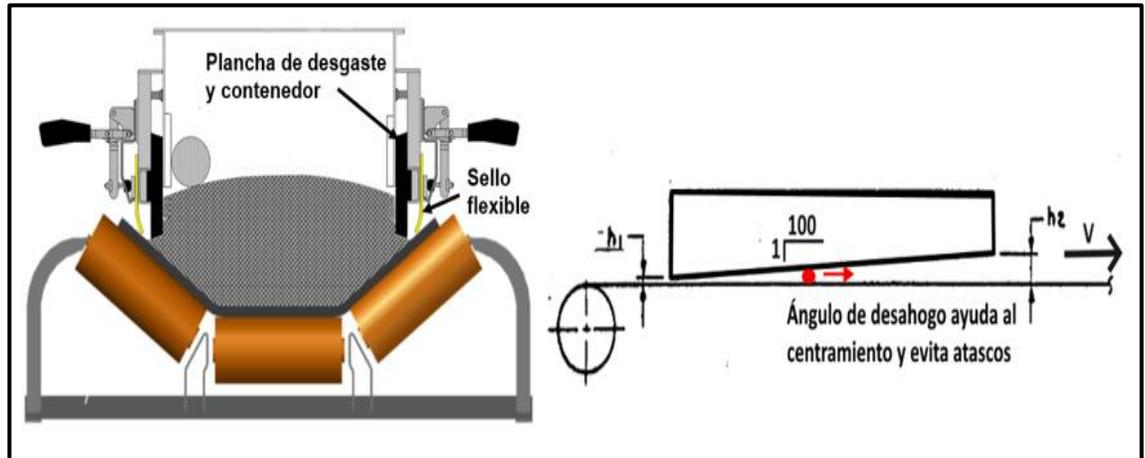


Figure 6. Sello longitudinal para mineral primario y secundario

Sello transversal. La gran mayoría de los sellos existentes son ineficientes, ni siquiera es posible denominarlo sello.



Figure 6. Sello transversal tipo existente

Existen algunos sellos que se aproximan a una solución real, ya que sellan sobre el material.



Figura 7. Sello transversal existente que va sobre el material

El sello que se propone va sobre el material, con las siguientes características:

- Con doble sello que forma una cámara de aire
- Con pivotes para evitar deterioro
- Flexible para disminuir el roce y ajustarse al material

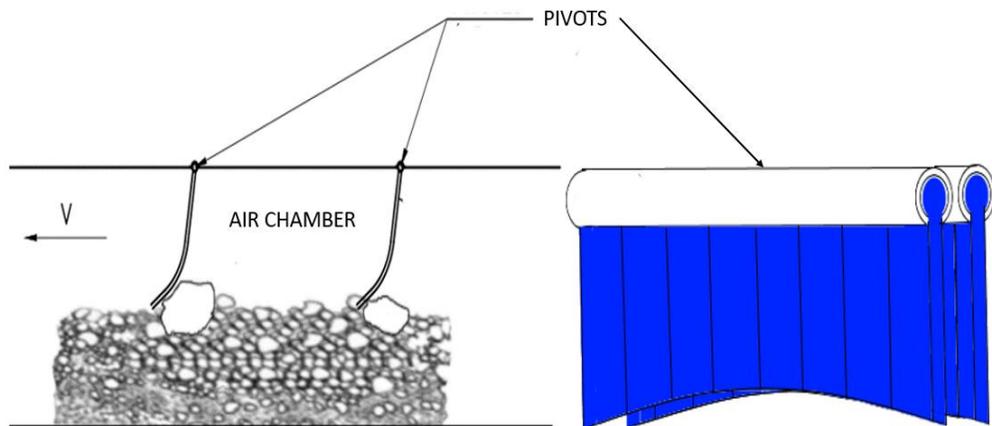


Figura 8. Sello transversal de poliuretano flexible con pivotes

Sello limpiador. El sellado entre el retorno de la cinta y el chute es complicado por la oscilación y deformación de la cinta. La propuesta de Proconm se hace cargo de estos problema. Un sello regulable de poliuretano flexible, probado en terreno que, además, actúa como limpiador secundario o terciario.

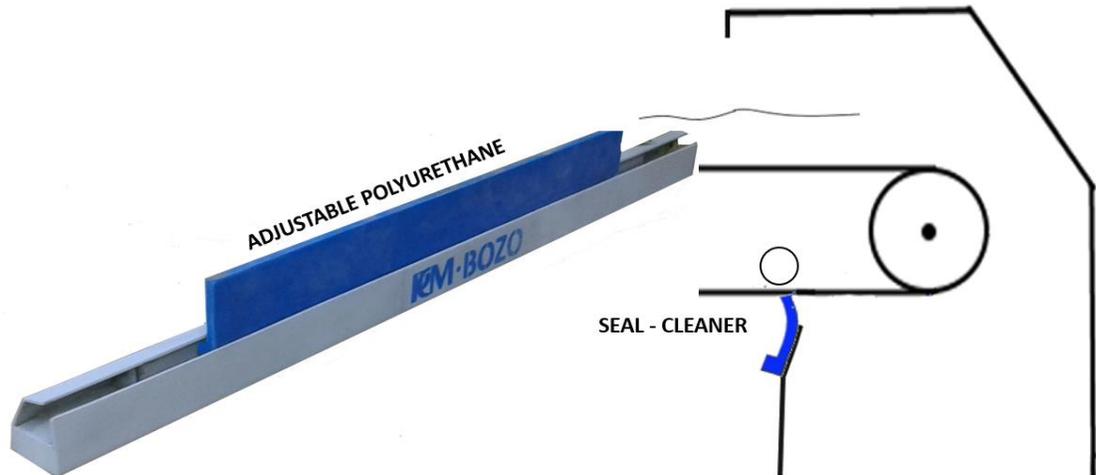


Figura 9. Sello – limpiador regulable y de poliuretano flexible

7.2

Descarga de Camión

Aire inducido. La zona donde descargan los camiones no tiene modelo matemático para el cálculo o estimación del aire inducido. Esto porque el ángulo de descarga y el flujo es variable. Proconm ha desarrollado una ecuación aproximada basada en valores y tiempos promedios.

Aire desplazado. El aire desplazado también se debe tomar como promedio, de acuerdo con mediciones en terreno, la razón del flujo

que sube el nivel por la descarga del camión, versus el flujo que baja por operación del chancador es 20:1.

Confinamiento mixto. En esta zona, se recomienda un confinamiento mixto. Esto es, sumarle al confinamiento pasivo, un confinamiento activo basado en una cortina de agua, agua-aire o aire. Este proceso de confinamiento activo no dura más allá de 30 segundos.

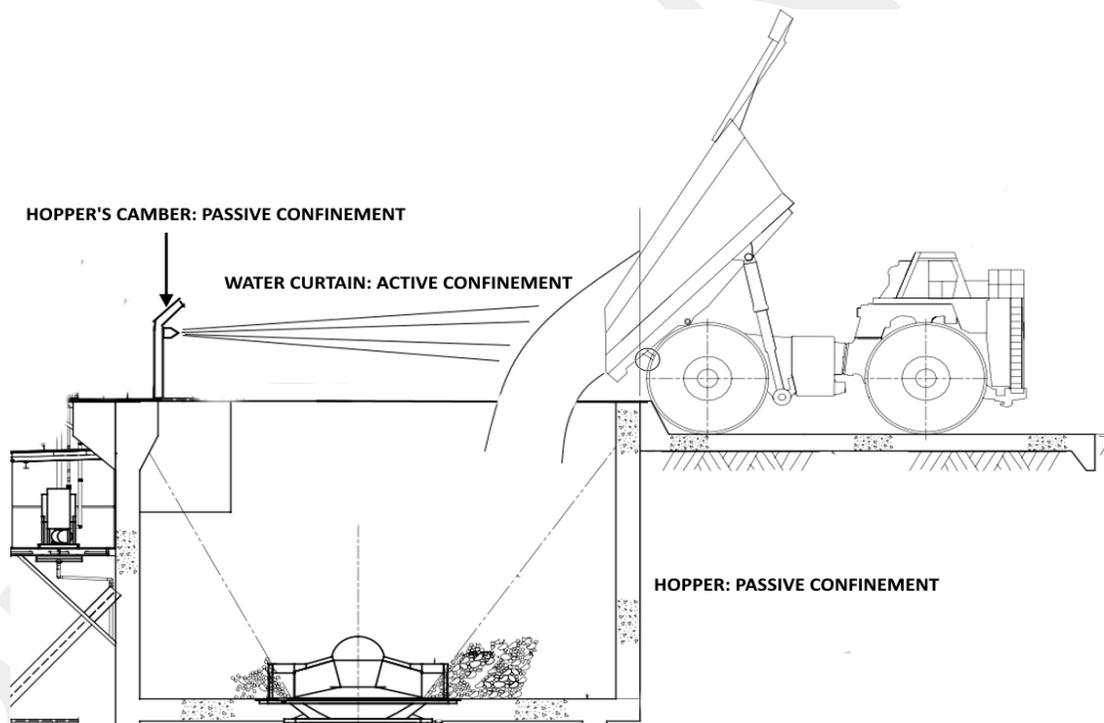


Figura 10. Esquema confinamiento descarga de camión

Confinamiento pasivo. En un lugar sin edificio, el confinamiento pasivo está compuesto por la tolva, el peralte de la tolva y los windfences.

Windfences. Los windfences o cortavientos, son grandes estructuras metálicas con pantallas porosas que tienen como objetivo reducir el polvo atmosférico mediante la disminución de la velocidad de los vientos en 50% en áreas grandes y 80% en áreas localizadas. La ubicación, tipo y altura de los windfences debe estar sustentada con un estudio de vientos.



Figura 11. Esquema con ubicación de windfences de TRC Raring

7.3 Correas Transportadoras

Confinamiento pasivo. Desde el material que va sobre la superficie de la correa se desprenden partículas, cuyo tamaño depende de la velocidad de la correa. Todo el PM10 se va al ambiente. Es necesario considerar una cubierta hermética o una correa tubular como control pasivo.

Figure 11. Esquema con ubicación de windfences de TRC Raring

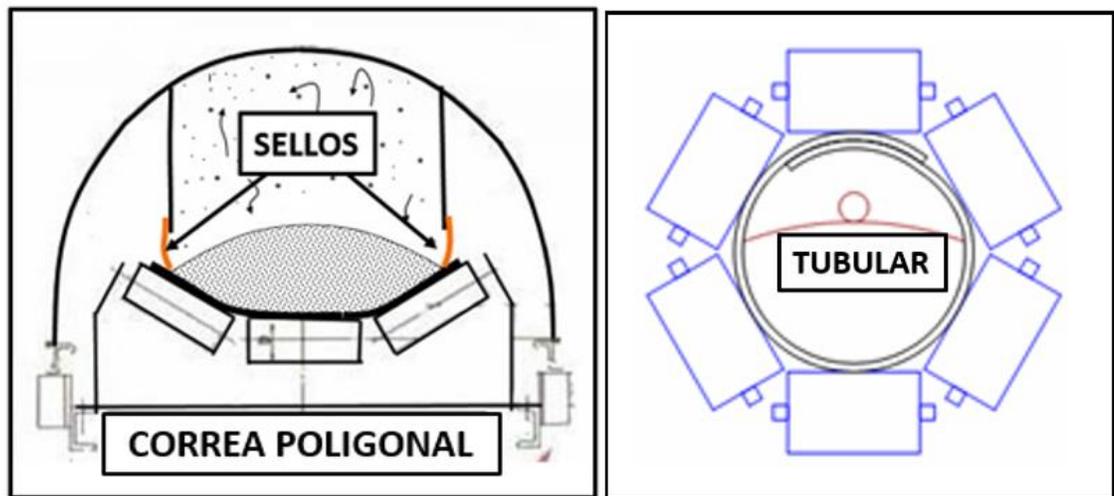


Figura 12. Opciones de control pasivo del polvo

7.1 Tolva

General. En una tolva o acopio de mineral confinado con entrada de material en la parte superior y salida por la parte inferior simultáneamente, el aire inducido recircula en el interior y sólo existe aire desplazado, que sale de la tolva cuando sube el nivel, o ingresa a la tolva cuando baja el nivel del material en su interior. Estas subidas y bajadas de nivel es lo que se denomina factor de fluctuación (FF), en la tolva.

Control pasivo. El antiguo colector tipo Reverse Air Jet Collector [9] cumple con los requerimientos definidos, al igual que las bolsas de polvo que se describen en el Foundations [8]. Pero, con limpieza mecánica o con aire comprimido [9].

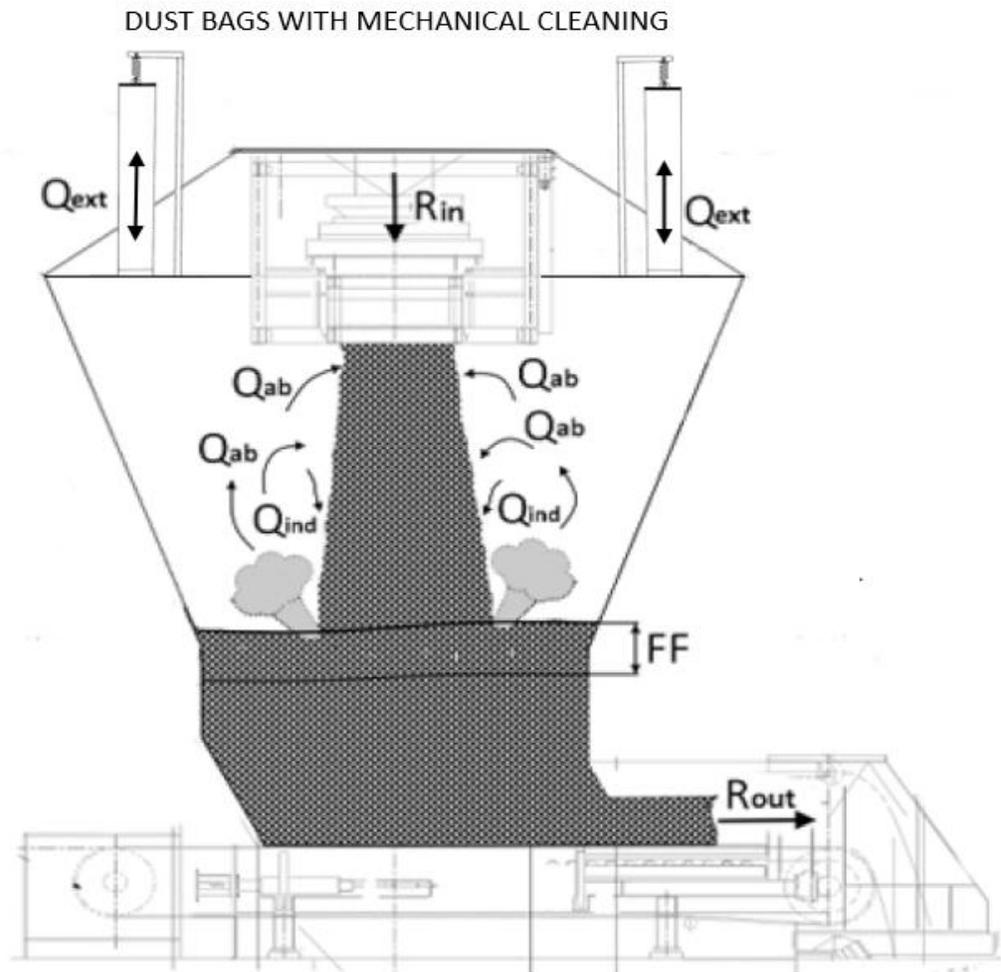


Figura 13. Tolva con bolsas de polvo con limpieza mecánica

8.0 REFERENCIAS

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

[2] 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

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

[4] Daniel Marshall and Greg Boggis, "Facts Concerning Dust and Air", Martin Engineering

[5] D. M. Anderson, "Dust control design by the air induction technique," Ind. Med. Surgery 33: 68 (1964)

[6] Richard Dennis & David V. Bubenick, "Fugitive Emissions Control for Solid Materials Handling Operations", Journal of the Air Pollution Control Association: (1983)

[Control de Emisiones Fugitivas Dennis](#)

[7] 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

[Sistema de Encerramiento Anti-Atascos](#)

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

[Bulk-Accessories-Committee-Meeting-Agenda-Set.pdf](#)

[9] Limpiador y Sellador desarrollado por Proconm para el control pasivo del polvo. Con patente registrada el año 2018.

[Limpiador y Sellador. Innovación Chilena](#)

Técnica para el Control Pasivo del Polvo	Proconm
Efraín Bozo Godoy / Gonzalo Bozo Nalli	Mayo 2024

[10] Martin Engineering. “Foundations the Practical Resource for Total Dust & Material Control”. Fourth Edition (2009).

[11] Charles E. Billings , Richard Dennis & Leslie Silverman, “Performance of Three Types of Fabric Dust Collectors”, Harvard University School of Public Health: 1954

PROCCONNM

Técnica para el Control Pasivo del Polvo	Procnm
Efraín Bozo Godoy / Gonzalo Bozo Nalli	Mayo 2024