

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DE UNA CÁMARA DE GRANALLADO PARA PARTES Y PIEZAS DE TRENES

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al Título
de Ingeniero Mecánico
Por los Brs. Salazar M., Jennifer
Trak D., Carlos A.

Caracas, Agosto 2001

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DE UNA CÁMARA DE GRANALLADO PARA PARTES Y PIEZAS DE TRENES

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Pedro Cadenas

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Uxmal Amézquita

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al Título
de Ingeniero Mecánico
Por los Brs. Salazar M., Jennifer
Trak D., Carlos A.

Caracas, Agosto 2001

DEDICATORIAS.

A mi Madre, Hermanas, Amigos, Familiares
y todos aquellos que me ayudaron a
finalizar esta etapa de mi vida.

A mi novio, amigo y compañero de
tesis, por haberse mantenido estable
durante toda esta experiencia.

A mi buen amigo Uxmal por su sabiduría,
afecto y por haber compartido
conmigo su filosofía de la vida.

Jennifer Salazar Morante

A mis Padres y modelos Iraima y Jorge.

A mis hermanos Jorge A. y Luis A.

A mis familiares y amigos de la pandilla.

A mi guía y amigo Uxmal por compartir
sus conocimientos y experiencia.

A la Casa que Vence las Sombras.

A ti mi amiga, compañera y apoyo, Jennifer.

Carlos A. Irak Dellán

AGRADECIMIENTOS .

A nuestros padres, amigos, hermanos y familiares por su apoyo, paciencia y ayuda incondicional.

A los Profesores de la U.C.V., por su destacada labor educativa en la formación profesional, en especial a nuestro tutor académico y guía Pedro V. Cadenas.

A todos los ingenieros de la Gerencia de Investigación y Desarrollo por la información y cooperación prestada, al Sr. Humberto Aguilera y demás personas. A la División de Proyectos Civiles de la C.A. Metro de Caracas, al Sr. Rodríguez.

Al Ingeniero, Tutor y gran amigo Uxmal Amézquita por compartir con nosotros su experiencia y conocimientos para lograr esta meta tan importante, gracias.

Nuestro agradecimiento para Jérémy Naudin un amigo y compañero con el cual compartimos e intercambiamos dos cosas: la cultura y la amistad.

En fin, gracias a todas aquellas personas que no mencionamos, pero que de alguna u otra manera formaron parte de nuestro trabajo de grado.

ABREVIATURAS.

- A.C.G.I.H.: American Conference of Governmental Industrial Hygienist.
- A.N.S.I: American National Standard Institute.
- BHP: Potencia requerida en hp.
- C.A.M.C.: Compañía Anónima Metro de Caracas.
- C.I.A.S.: Consejo Interamericano de Seguridad.
- CLEMCO : Empresa transnacional especialista en granallado y equipos similares.
- COVENIN : Comisión Venezolana de Normas industriales.
- dB: Decibeles.
- hp: Caballos de potencia.
- HRc: Dureza Rockwell C.
- InH₂O: Pulgadas de agua.
- kg: Kilogramos.
- kW: Kilovatios.
- lb: Libra.
- Lumen: Unidad de flujo luminoso.
- Lux: Unidad de iluminancia
- m: Metros.
- min: Minutos.
- mm: Milímetros.

-
- mmcda: Milímetros de columna de agua.
 - O.S.H.A.: Occupational Safety & Health Administration.
 - PCM: Pie cubico por minuto.
 - PPM: Pie por minuto.
 - Psi: Libras por pulgada cuadrada.
 - PD: Presión dinámica.

Salazar M., Jennifer

Trak D., Carlos A.

DISEÑO DE UNA CÁMARA DE GRANALLADO PARA PARTES Y PIEZAS DE TRENES

**Tutor Académico: Prof. Pedro Cadenas. Tutor Industrial: Ing.
Uxmal Amézquita. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.
Escuela de Ingeniería Mecánica. Año 2001, 205 p.**

Palabras claves: Granallado, Ventilación Industrial, Iluminación,
Transporte de Material.

Resumen. En el presente trabajo se diseña la cámara de granallado para partes y piezas de trenes, se asignan las dimensiones de ésta acuerdo al tamaño de la pieza a limpiar. También se diseña el sistema de ventilación para la cámara siguiendo la metodología del Manual de Ventilación Industrial y las normativa ANSI, se selecciona el filtro del aire contaminado a través de un análisis comparativo morfológico. Se determina el número de luminarias para obtener el nivel de iluminancia adecuado en la cámara de granallado, siguiendo las normativas del Manual de Iluminación de la Whestinghouse. Se diseña la tolva de acumulación y se seleccionó el sistema de transporte para recolección de abrasivos considerando los requerimientos de la empresa.

1. EL GRANALLADO.

1.1 GENERALIDADES.

Este capítulo tiene como propósito explicar los parámetros relacionados con la cámara de granallado de la C.A. Metro de Caracas (**CAMC**), los cuales se pueden agrupar en la siguiente forma:

- El Bogie(material rodante).
- Línea de mantenimiento de bastidores y traviesas.
- Limpieza por chorro de abrasivos.
- Enfermedades profesionales a causa del granallado.

1.2 EL BOGIE (MATERIAL RODANTE) .

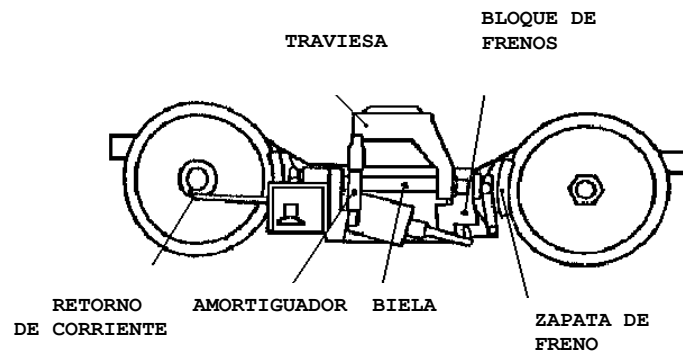
El Bogie es un conjunto de elementos que esta especialmente diseñado para poder cargar y dirigir la carrocería por una trayectoria (Figura 1.1). El Bogie se desplaza sobre las vías de rodamiento. Esta diseñado además para transmitir los esfuerzos de tracción y frenado al compartimiento de pasajeros, dar la suspensión y amortiguar cualquier vibración que pueda ser transmitida.



Vista Lateral del Bogie

Figura 1.1

El Bogie está ubicado debajo de cada vagón, uno en cada extremo, entonces se puede decir que cada vagón descansa sobre dos Bogies, lo cual nos da un total de 14 Bogies por tren. Los Bogies poseen tracción propia, ya que tienen un motor por cada eje y dos ejes por Bogie.



Detalles del Bogie

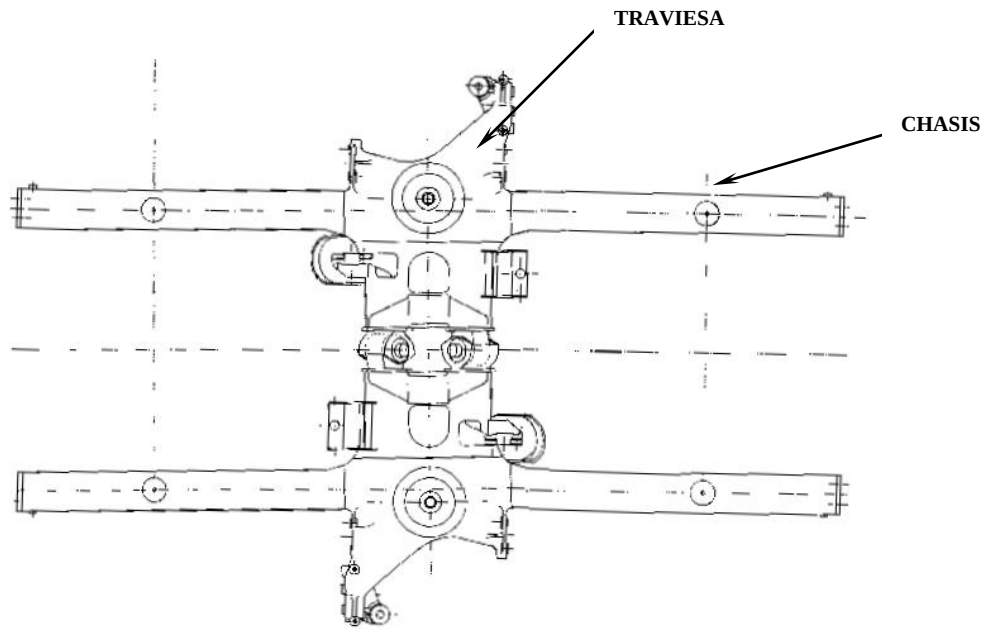
Figura 1.2

1.2.1 El bastidor:

El bastidor del Bogie recibe las cargas de la caja transmitidas a la traviesa de carga en los deslizadores, por medio de los cojines neumáticos de suspensión secundaria o de los resortes auxiliares en caso de falta de aire en los cojines. Luego

el bastidor, transmite estas cargas al eje en la caja de rodamiento por intermedio de los elementos de suspensión primaria y de los rodamientos de las cajas.

El bastidor es en forma de H interna (Figura 1.3) y está formado por dos chasis unidos entre sí en cuatro puntos mediante articulaciones elásticas. Estos permiten los movimientos relativos entre los dos chasis, reduciendo los riesgos de descarrilamiento. La masa de esta pieza es de 900 Kg por Bogie aproximadamente.



Bastidor del Bogie
Figura 1.3

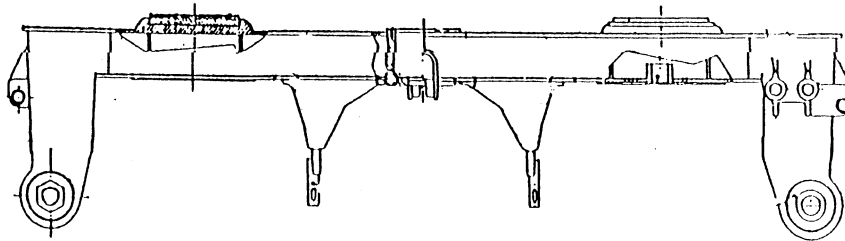
El bastidor del Bogie recibe:

- La fuerza de tracción en el punto de unión de las bielas con la traviesa bastidor.

- Las reacciones de las fuerzas de frenado transmitidos por los bloques de frenos fijados al bastidor.
- Las reacciones debidas al par de rotación del motor y la transmisión de este último al reductor.
- Las fuerzas de reacción de los diversos amortiguadores.
- Las fuerzas transversales debido a los topes transversales.

1.2.2 Traviesa de carga:

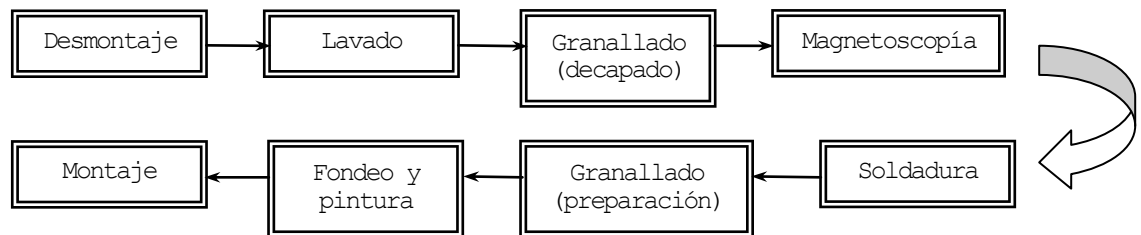
Se encarga de transmitir las fuerzas horizontales de tracción y frenado producidos por cada Bogie a la carrocería (Figura 1.4). Este elemento del Bogie está conformado básicamente por chapas de acero soldadas, en cada extremo tiene soldadas unas piezas de acero moldeado, además tiene asientos para los acoples de la suspensión secundaria, amortiguadores hidráulicos, ancla limitadora, lápiz de la carrocería, etc. También tiene un par de láminas soldadas en la parte inferior para limitar el desplazamiento lateral de la traviesa con respecto a los demás sistemas rígidos del Bogie.



Vista lateral de la traviesa
Figura 1.4

1.3 LÍNEA DE MANTENIMIENTO DE CHASIS Y TRAVIESAS.

Para la inspección y corrección de las fisuras de los chasis y traviesas, el plan de mantenimiento de los Bogies de los trenes del Metro de Caracas, se sigue los siguientes pasos:



Esquema de la Línea de mantenimiento
Figura 1.5

1. Desmontaje:

En esta área son desacopladas todas las piezas que conforman al Bogie. Cada pieza es manipulada en su respectivo departamento, como son: motores, sistema de frenos, amortiguadores, traviesa, chasis, etc.

2. Lavado de bastidores y traviesa:

Esta actividad consiste en eliminar el polvo y la grasa o aquella materia extraña que esté adherida a la estructura metálica. Es realizado con agua a presión utilizando jabón industrial y kerosene desodorizado.

3. Granallado:

Proceso utilizado para eliminar la pintura que recubre las partes estructurales metálicas de los chasis y traviesas.

4. Magnetoscopia:

La magnetoscopia es una técnica utilizada para determinar posibles fallas estructurales tales como fisuras en los chasis y traviesa de los Bogies. Para realizar la magnetoscopia se utiliza Magnaflux, lámpara ASM/TIEDE y magneto TIEDE.

5. Soldadura:

Proceso que se utiliza para la reparación de las fisuras de las piezas.

6. Granallado:

Proceso empleado para eliminar los restos y escorias de la soldadura y, así preparar la superficie de las piezas para aplicarles pintura.

7. Pintura:

Consiste en cubrir las superficies de los chasis y traviesas con una película de pintura para fondear y pintar.

8. Montaje:

En esta área son acopladas todas las piezas y partes ya reparadas o revisadas, para ensamblar el Bogie.

1.4 LIMPIEZA POR CHORRO DE ABRASIVOS.

La limpieza de superficie por medio de chorro de abrasivos, puede ser definida como: un proceso secundario de manufactura en el cual, una corriente apropiada de partículas sólidas son

propulsadas con suficiente velocidad contra una superficie, dando como resultado una superficie limpia, uniforme y con una mayor vida.

La limpieza por chorro de abrasivos se usa tanto para un acabado industrial del hierro, acero, fundición o materiales similares como para la aplicación de acabados decorativos en distintos materiales. En la construcción se usa comúnmente para la limpieza de exteriores, mientras que las industrias lo utilizan para efectuar limpieza y procedimientos de acabado, entre las cuales se pueden citar fundiciones, astilleros, acerías, tornerías y otras industrias metalúrgicas.

En la industria moderna, la limpieza con chorro abrasivo es empleada en variedad de propósitos. Comúnmente es utilizada en la remoción de arena o rebardas de las fundiciones y forjas para mejorar la maquinabilidad de las piezas. Por su efectividad en la limpieza de metales, el proceso ha sido aceptado para remover pintura, óxidos y otros contaminantes.

1.4.1 Clases de sistemas:

Existen básicamente cuatro clases de sistemas para limpieza con chorro de abrasivos, los cuales son:

a) Máquinas portátiles: estas máquinas están constituidas por un compresor de aire, un recipiente de presión que lleva abrasivo, un dispositivo de medición para controlar la relación aire-abrasivo y el flujo, una manguera flexible para descargar el

abrasivo, y una boquilla manual para dirigir el abrasivo contra la superficie a limpiar. Estos equipos pueden ser manuales o automáticos (Figura 1.6).



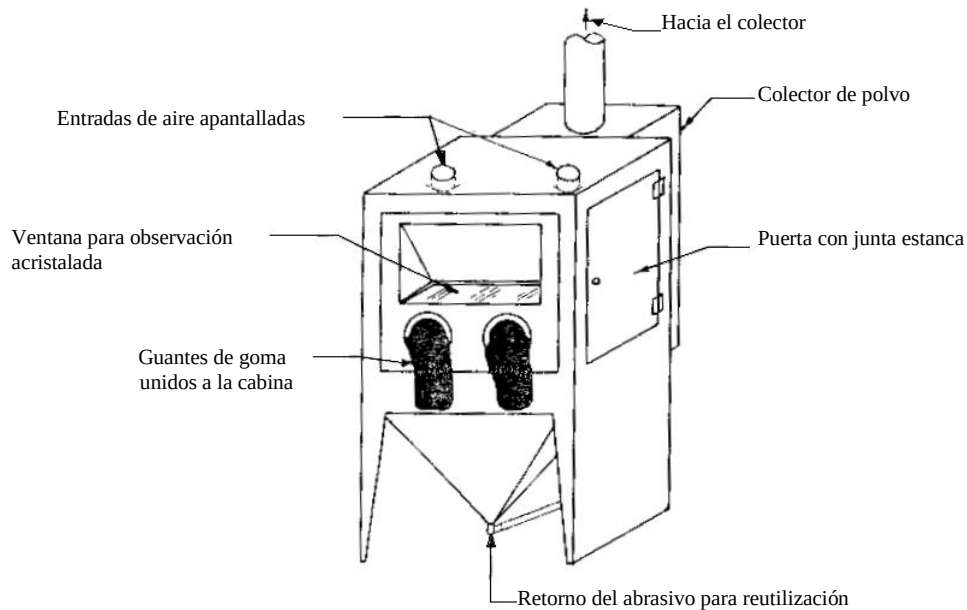
Máquinas portátiles
Figura 1.6

b) Equipos manuales dentro de la cabina: en estos equipos se usan tolvas para almacenamiento de abrasivo más grandes. Estos equipos son similares a los portátiles (Figura 1.7).



Cabinas portátiles
Figura 1.7

c) Equipos manuales de gabinete: en estos equipos el operador introduce los brazos y las manos en un gabinete metálico para manipular la boquilla y/o realizar el trabajo, mientras observa el proceso a través de un visor de seguridad (Figura 1.8).



Equipo de gabinete
Figura 1.8

d) Limpiadoras automáticas: en estos equipos se emplea un sincronizador y una válvula de cierre automático, con la cual se logra un ciclo de limpieza programado.

1.4.2 Métodos de aplicación del material abrasivo:

Los métodos para la aplicación del material abrasivo son los siguientes:

a) Chorreado estándar con abrasivo seco: el abrasivo seco se aplica mediante la fuerza del aire comprimido.

- b) Chorreado centrífugo: el abrasivo seco es impulsado por una fuerza centrífuga proveniente de una rueda giratoria.
- c) Limpieza con chorro de arena húmeda o con vapor: la arena de sílice con una cantidad dosificada de un líquido humectante es propulsada con aire.
- d) Hidroarenado: se mezcla arena con agua y es propulsada con presión de agua.
- e) Chorreado con líquido de hidroacabado: se suspenden pequeñísimas partículas de arena y agua y son propulsadas con aire.

1.4.3 Tipos de abrasivos:

Entre los abrasivos más usados pueden citarse desde las granallas metálicas y alambre cortado hasta abrasivos no metálicos, abrasivos a base de óxido de aluminio, gránate, sílex, cuarzo y arena de sílice. Para limpiar superficies delicadas se emplean sustancias orgánicas, como por ejemplo cáscara de nuez, aserrín, mazorca molida y cáscara de cereales.

Cada abrasivo tiene un uso específico y da como resultado un grabado y una apariencia final de la superficie. Generalmente, el abrasivo es clasificado de acuerdo a las siguientes características:

- a) Tamaño: según el tamaño del tamizado existen diferentes tamaños de abrasivos.
- b) Forma: irregular, redonda y afilada.
- c) Dureza: usualmente dado por la escala de dureza de Mohs.
- d) Color: brillante y oscuro. Los abrasivos brillantes reflejan la luz y restringen la visibilidad. Los abrasivos oscuros absorben la luz.
- e) Componentes químicos: los abrasivos no deben contener componentes que puedan quedar en la superficie limpiada.
- f) Peso o gravedad específica: los abrasivos pesados limpian más rápido, mientras que los abrasivos livianos son usados para pulir.
- g) Ph del abrasivo: un Ph neutral con un rango de 7.0 ± 1 es considerable. Abrasivos con sales disolubles en agua no son recomendados.
- h) Costo y disponibilidad: la selección del abrasivo podría resultar en un alto costo de transporte al área de uso. Casi siempre, el costo del flete excede el costo del abrasivo.

En la Tabla No. 1.1 se encuentran las diferentes clases de abrasivos de acuerdo a su aplicación.

ABRASIVO	TIPO	MAYOR COMPONENTE	FORMA	DUREZA	PESO ESPECÍFICO	REUSABLE	USO RECOMENDADO
Granalla de acero	Metálico	Hierro	Redonda	Duro	7,2	Si	Granallado
Granalla de acero	Metálico	Hierro	Angular	Duro	7,6	Si	Decapado de metales
Granalla de hierro	Metálico	Hierro	Angular	Duro	7,4	Si	Decapado de metales
Oxido de aluminio	Óxido	Alúmina	Angular	Duro	3,8	Si	Decapado de metales
Carburo de silicon	Óxido	Carburo de silicón	Angular	Duro	3,8	Si	Decapado de metales
Granate	Óxido	Hierro-Sílice	Irregular	Duro	4	Si	Decapado de metales
Chatarra mineral	Conglomerado	Hierro Aluminio-Sílice	Irregular	Duro	2,8	Si	Decapado de metales
Piedras	Sílice	Sílice	Afilada	Medio	2,7	Si	Decapado de metales
Arena	Sílice	Sílice	Irregular	Medio	2,7	No	Limpieza ligera
Piedra caliza	Óxido	CaCO ₃	Irregular	Suave	2,4	No	Limpieza ligera
Cáscaras de nueces	Vegetable	Celulosa	Irregular	Suave	1,3	Si	Limpieza ligera
Cáscaras de cereales	Vegetable	Celulosa	Irregular	Suave	1,2	Si	Limpieza ligera
Vidrio	Óxido	Sílice	Redonda	Medio	2,7	Si	Limpieza ligera

Selección de abrasivos
Tabla 1.1

1.4.4 Proceso de granallado empleado en la CAMC:

El trabajo de granallado se inicia con el ingreso de la pieza (chasis o traviesa) a la cámara por medio de la puerta de suministro (Figura 1.9). El traslado de la pieza se logra por medio de un carro-grúa sostenido en una viga de perfil doble T

EL GRANALLADO

(IPN-24) y con la ayuda de dos operadores para ser colocada en los puestos de trabajo ajustables. Previamente el operador del granallado se encuentra dotado de los equipos de seguridad personal, como: braga, guantes y botas de seguridad.

Al encontrarse la pieza en el interior de la cámara es accionado el compresor de aire portátil de combustible diesel. El compresor suministra aire a los siguientes equipos:

- a) Máquina recolectora de abrasivo o aspiradora;
- b) Casco del operador;
- c) Máquina de granallas; y
- d) Colector de polvo.

Luego es accionado el sistema de ventilación y filtrado del aire contaminado, conformado por un ventilador, un colector de polvo, ducterías y chimenea.

En el interior de la cámara se encuentran el casco que le suministra aire al operador con su respectivo filtro y la manguera para el suministro de las granallas. La manguera para el suministro de las granallas consta de una boquilla de cierre automático y su conducto de salida es del tipo recto. Para

accionar la boquilla el operador debe oprimir el disparador de seguridad, que se traba cuando se suelta el mango, para evitar un disparo accidental del mecanismo.

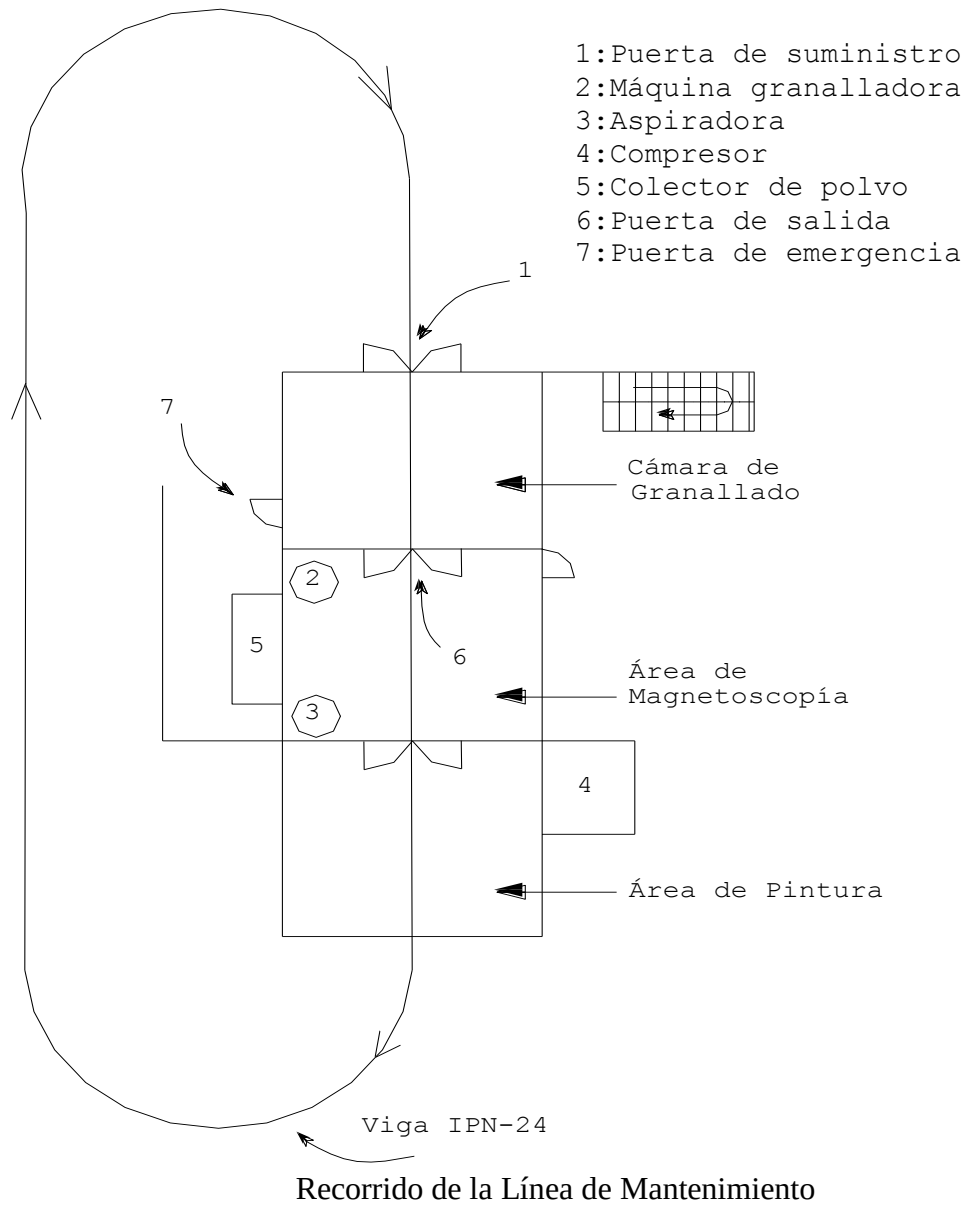


Figura 1.9

Siguiendo con el proceso de granallado, el operador se coloca la mascarilla de protección contra polvo, luego el casco con suministro de aire y son cerradas todas las puertas de la

cámara; simultáneamente otro operador abre la válvula de paso de la máquina de granallas para comenzar a granallar la pieza.

El operador concluye su trabajo cuando visualiza que la pieza no presenta restos de pintura o rebabas de soldadura según sea el caso. Después, el operador cierra la corriente de aire-granallas con el dispositivo de la boquilla, se quita el casco para luego abrir la puerta de salida de la pieza y la puerta de acceso de operadores. El sistema de ventilación se mantiene encendido mientras la pieza es trasladada al área de magnetoscopia.

En la cámara de granallado de la C.A. Metro de Caracas se trabajan máximo cuatro chasis u ocho traviesas por turno de trabajo (4 horas). El tiempo del proceso de granallado de un bastidor, es de 30 min. aproximadamente. La recolección de la granalla es realizada manualmente por el operador con una aspiradora neumática. La manguera recolectora lleva las granallas que se encuentran en el área del piso de la cámara al separador ciclónico que se encuentra ubicado en la parte superior de la máquina granalladora. Este separador separa las partículas livianas de las más pesadas (granallas) contenidas en una corriente de aire mediante la acción de fuerzas centrífugas, gravitacionales o de inercia. Luego las granallas pueden ser utilizadas para otra operación.

1.5 ENFERMEDADES PROFESIONALES A CAUSA DEL GRANALLADO.

Al no acatar los procedimientos de trabajo establecidos por los organismos competentes y registrados en las normas y publicaciones oficiales, los trabajadores pueden contraer enfermedades propias de la labor que ejecutan (enfermedades ocupacionales o profesionales). Esta mala praxis debida a la falta de prevención y obediencia de las empresas o supervisores de las normas, pudieran repercutir en la salud de algún trabajador, la cual se encuentra sancionada en Venezuela, por la Ley de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (Gaceta Oficial No.35.020 del 17 de agosto de 1992).

Según la Ley de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo, capítulo VIII, artículo 28; se entiende por **enfermedades profesionales**, a los estados patológicos contraídos con ocasión del trabajo o exposición al medio en el que el trabajador se encuentra obligado a trabajar; y aquellos estados patológicos imputables a la acción de agentes físicos, condiciones ergonómicas, meteorológicas, agente químicos, agentes biológicos, factores psicológicos y emocionales, que se manifiesten por una lesión orgánica, trastornos enzimáticos o bioquímicos, trastornos funcionales o desequilibrio mental, temporales o permanentes, contraídos en el ambiente de trabajo.

1.5.1 Agentes causantes:

Los operadores del granallado están expuestos a padecer de enfermedades profesionales del pulmón causadas por el polvo que se genera durante el trabajo.

Para el Consejo Interamericano de Seguridad (CIAS) los polvos son partículas sólidas generadas por el manejo, la trituración, el esmerilado, el impacto rápido, la detonación, etc, de sustancias orgánicas e inorgánicas como las rocas, metales, carbón, cereales, etc. Su tamaño varía de 0.01 a 30 μm .

1.5.2 Enfermedades generadas:

Las enfermedades ocupacionales del pulmón son motivo de preocupación, tanto para los trabajadores como para los profesionales de la salud. Las enfermedades se encuentran subinformadas porque frecuentemente evolucionan en forma tan lenta que el trabajador no sabe que está enfermando.

A menudo, cuando un trabajador tiene síntomas perceptibles, ya se le ha producido un daño permanente en el pulmón, el cual empeora aun cuando el trabajador haya abandonado el ambiente ocupacional que le ha provocado problemas.

Las enfermedades ocupacionales del pulmón se dividen en dos clases principales: neumoconiosis y enfermedades por hipersensibilidad.

a) Neumoconiosis:

Las neumoconiosis son enfermedades causadas por la presencia de polvo en los pulmones. Fueron las primeras que se conocieron como ocupacionales. Las distintas clases de neumoconiosis se denominan de acuerdo con la clase de polvo o la ocupación que se encuentra asociada con la enfermedad, como son: silicosis, siderosis, antracosis, beriliosis, etc.

b) Enfermedades por hipersensibilidad:

Entre las enfermedades derivadas de la hipersensibilidad se incluyen las alergias, asma, bronquitis y bronquitis industrial. Estas reacciones pueden presentarse en los bronquios, los bronquiolos o en los alvéolos, dependiendo del tamaño de las partículas inhaladas.

En los trabajadores de una industria al presentarse alguno de estos síntomas o enfermedades ocupacionales se puede estar incurriendo en una falta de prevención y seguridad industrial en el área o departamento donde fue hallada esta anomalía. De presentarse estos indicios en las zonas ajenas a la industria, se puede concluir que las condiciones de higiene y seguridad de la empresa fallan, ocasionando la contaminación del medio ambiente. Este acto de degradar el medio ambiente está definido y sancionado en la Ley Orgánica del Ambiente, capítulo V, artículo 20 y en el capítulo VI.

2. DIAGNÓSTICO DE LA ACTUAL CÁMARA DE GRANALLADO DEL METRO DE CARACAS

2.1 GENERALIDADES.

Este capítulo tiene como propósito la determinación de las fallas y/o necesidades de la actual Cámara de Granallado de la C.A. Metro de Caracas. Para determinar los requerimientos en el diseño de la nueva cámara, se realizaron los siguientes pasos:

1. Revisión de las normas nacionales e internacionales vinculadas al proceso de granallado.
2. Inspección visual detallada de la actual Cámara de Granallado, en la cual, se determinarán los factores que inciden negativamente en el proceso.
3. Comparación de los valores dados en las normas con los obtenidos en los equipos actuales.

2.2 NORMAS VINCULADAS AL PROCESO DE GRANALLADO.

Las reglamentaciones de la **OSHA (Occupational Safety & Health Administration)** y **COVENIN (Comisión Venezolana de Normas**

Industriales) tienen normas relacionadas con el ruido, los contaminantes aéreos, la ventilación, los equipos de protección personal, los sistemas de chorro (compresores, boquillas, etc.) y sobre trabajos en lugares cerrados. Todo está relacionado con tareas de limpieza con chorro de abrasivos.

La **ANSI Z9.4-1985 (American National Standards Institute)**, publicó una norma muy completa sobre limpieza con chorro abrasivo "Abrasive blasting operations, ventilation and safe practices for exhaust systems", además de otras relacionadas con ventilación.

La **American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)** estipula las exigencias sobre el diseño de los sistemas de ventilación en su **Manual de Ventilación Industrial**.

Para determinar los parámetros primordiales en el diseño de la cámara de granallado y luego de haber examinado las normas relacionadas, se obtuvieron los siguientes rangos de diseño:

2.2.1 Ventilación:

Los rangos de velocidad de captura mínimo, recomendado por la **ACGIH** para este tipo de actividad, indican que la velocidad mínima en recintos es de $0,5 \text{ m/s}$, para una circulación transversal, esta velocidad permite la visibilidad, pero, no garantiza el control de riesgo higiénico causado por el polvo a los operarios, al menos que, estos tengan equipos de respiración autónoma como es el caso en estudio. Además, si se incrementa los valores de velocidad de captura de aire a la condición de dispersión del

contaminante, denominada "*liberado con alta velocidad inicial en una zona de movimiento muy rápido del aire*" que en condición del límite inferior tiene un valor de 2.5 m/s . Para así, considerar niveles de seguridad mayores para los operarios y mejorar la calidad de los trabajos que allí se realizan.

La corriente de aire descendente debe tener una velocidad promedio de 24 m/min . en toda la superficie del piso como lo estipula el **Consejo Interamericano de Seguridad** en su artículo "**Limpieza con chorro de abrasivo**".

Para la estimación mínima del caudal volumétrico del aire que se debe manejar en la cámara de limpieza con granalla la **ACGIH y ANSI Z9.4**, proponen dos métodos de cálculos:

- a) Método de cambios de aire por horas.
- b) Método de velocidad por área.

El método de cambios de aire por hora, nos indica cuantas renovaciones de aire se deben realizar en la cámara de granallado, durante una hora, que al ser multiplicado este valor por el volumen de la cámara, da como resultado el caudal necesario para el sistema. La norma **ANSI Z9.4** expresa que para cámaras de limpieza por chorro de abrasivos son necesarios 30 cambios/h, resultando un caudal volumétrico de $1,54 \text{ m}^3/\text{s}$.

El método de velocidad por área lo conseguimos al multiplicar un factor por área del piso de la cámara. El factor es

obtenido definiendo ciertas características del flujo. El caudal volumétrico obtenido es de 3,85 m³/s.

Se debe destacar que el caudal volumétrico de aire mínimo a usar, es el de mayor valor numérico dado por los métodos ya mencionados para un mismo tipo de abrasivo, que en el caso en estudio es la granalla metálica.

2.2.2 Iluminación:

Los valores mínimos de iluminancia recomendados para cámaras de granallado del **Consejo Interamericano de Seguridad** es 500 Lux y recomienda el uso de luminarias antiexplosivas para este tipo de operación. **CLEMO Inc** (Empresa trasnacional que construye todo lo relacionado con limpieza de chorro de abrasivos) sugiere 1000-1500 Lux, **Westinghouse Inc** (Manual de iluminación) sugiere una iluminación entre 1000-1500 Lux y la norma **COVENIN 2249-93 'Iluminacias en tareas y áreas de trabajo'** para este tipo de ambiente entre 1000-2000 Lux. Se debe destacar que los valores dados por las normas y las empresas son bajo condiciones de trabajo u operación.

2.2.3 Dimensiones del recinto:

ANSI/ASC Z9.4-1985 y **CLEMO Inc** (Empresa trasnacional que construye todo lo relacionado con limpieza de chorro de abrasivos), recomienda en sus catálogos de productos para sandblasting o similar, recintos donde las dimensiones varían dependiendo de las piezas de trabajos, dejando siempre una holgura

en sus medidas entre 1-3 metros para una sola estación de trabajo de limpieza con boquillas de flujo directo de abrasivos.

2.3 INSPECCIÓN VISUAL.

La inspección visual es una herramienta para el control de calidad de un producto o de un proceso. Como la inspección visual es un proceso sistemático para efectuarla correctamente debemos conocer con anterioridad las respuestas a las siguientes interrogantes:

- i. ¿Qué ver? o ¿Qué buscamos?
- ii. ¿Cómo ver? o ¿Cómo lo buscamos?
- iii. ¿Dónde ver? o ¿Donde debería buscarse?
- iv. ¿Cuándo ver? o ¿Cuándo deberíamos buscar?
- v. ¿Qué hacer cuando concluimos el proceso?

Para la evaluación de la actual cámara de granallado, la inspección fue realizada de acuerdo al siguiente esquema:

2.3.1 Cámara de granallado

Dimensiones

Puertas

Puertas de suministro y salida de las piezas

Puerta de emergencia

Recubrimiento interno

2.3.2 Sistema de Iluminación

2.3.3 Sistema de Ventilación y filtrado

2.3.4 Sistema de recolección de abrasivo

2.3.5 Equipos asociados

Compresor
Filtro de aceite
Separadores de humedad
Trampas de agua
Equipo para granallar
Equipo de protección del operador

De acuerdo a los pasos mostrados anteriormente, la inspección realizada concluyó en los siguientes puntos:

2.3.1 CÁMARA:

Dimensiones:

- La cámara mide 4.4 m de largo, 6.10 m de ancho y 3.44 m de alto, con las presentes dimensiones no hay espacio suficiente en el interior de la cámara para la circulación del operador cuando se realiza el trabajo de granallado de una manera segura y cómoda.
- Con las dimensiones presentes el operador tiene que realizar maniobras con las partes de los bogies que afectan la estructura de la cámara de granallado por golpes, abolladuras y otros.

Puertas:

Puertas de suministro y salida de las piezas:

- La puerta de entrada y salida de las piezas de la cámara de granallado están formadas por cuatro hojas, las cuales cada

una mide 0.75 m de ancho y 3.44 m de alto. El material de las puertas es de láminas de acero. Su masa aproximada por hoja es de 20 kg.

- En ambas puertas (suministro y salida de piezas) sólo se abren dos de las cuatro hojas, por esta razón se presentan torceduras y golpes ocasionados por el paso de los bastidores y traviesas a través de ellas. Por tal motivo estas puertas no tienen la hermeticidad necesaria para este proceso. Al no existir hermeticidad los trabajadores externos se ven afectados en muchas oportunidades por impactos de granalla.
- El sistema de cierre de ambas puertas es de pasadores internos. Son tres pasadores, dos son verticales y se encuentran ubicados en la parte inferior y superior, el otro es horizontal y se encuentra ubicado en el centro de la puerta. Este sistema no es el más conveniente para el trabajo que ahí se realiza, básicamente por razones de seguridad y además se debe destacar que para abrir estas puertas se hace entre dos personas, por problemas de desniveles que hay en la misma y por las presiones negativas que tiene la cámara cuando el sistema de ventilación está encendido.
- La puerta de entrada a la cámara presenta un visor cuyas dimensiones son 0.63 m de ancho por 0.30 m de alto de material plástico, opaco y muy rayado por efectos de los múltiples impactos de la granalla, según comentarios de los

operarios este visor se raya en menos de una semana de trabajo hasta volverse opaco, y actualmente no es reemplazado por factores económicos. La norma **ANSI Z9.4** estipula que los visores deben ser de vidrios o plásticos de seguridad y estar protegidos con mallas metálicas. En este caso se observó que no hay tal protección.

Puerta de acceso de los operadores:

- La dimensión de esta puerta es de 2.10 m de alto por 0.90 m de ancho, fabricada en láminas de acero con el sentido de abertura hacia el exterior de la cámara y su peso es de 10 kg aproximadamente, ésta presenta golpes, abolladuras y la cerradura de la misma no funciona, por estas razones la hermeticidad es deficiente.
- El cierre de la puerta es debido a la presión negativa creada en la cámara por el sistema de ventilación, por este motivo el operador debe empujarla fuertemente para poder abrirla mientras este encendido el sistema de ventilación.
- No posee la señalización que indique que es una puerta de emergencia, esto conlleva, a que cualquier persona pueda ingresar a la cámara cuando se está granallando.

Recubrimiento interno:

- El recubrimiento interno de la cámara de granallado es de láminas rectangulares de goma. Este recubrimiento es excelente para este tipo de trabajo debido a que minimiza el

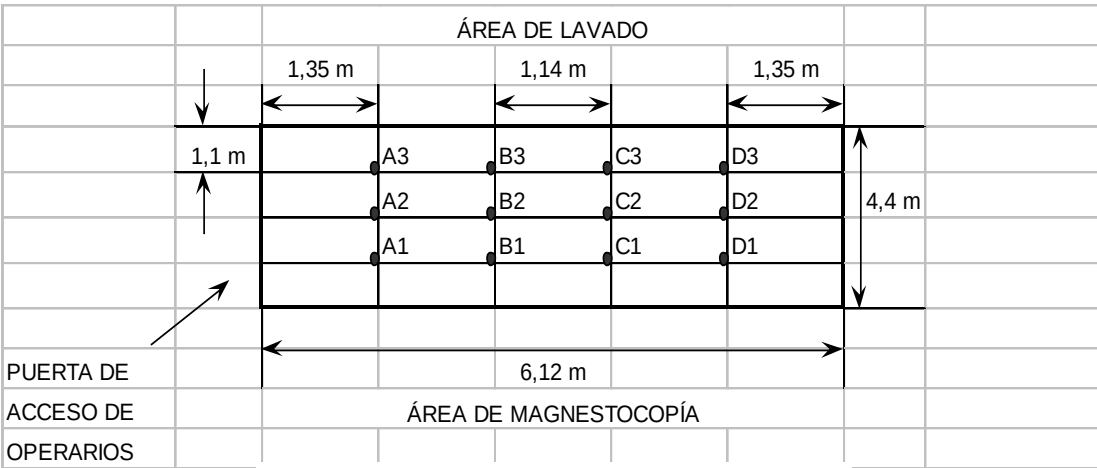
efecto sonoro y destructivo causado por el rebote de las granallas metálicas contra las paredes internas y puertas de la cámara, pero las instaladas actualmente no se les realiza ningún tipo de mantenimiento, observándose un deterioro generalizado en estas.

2.3.2 SISTEMA DE ILUMINACIÓN:

El presente diagnóstico se efectuó en dos partes, una primera en la cual se realizaron mediciones de iluminancia (Lux) con el fin de obtener el valor promedio general de este parámetro dentro del recinto, para así compararlo con lo establecidos por las normativas vigentes nacionales e internacionales. La segunda parte de la evaluación son observaciones que se consideraron pertinentes realizar en esta sección.

Metodología:

El área de la planta de la cámara de granallado se cuadriculó según se muestra en el siguiente croquis:



Puntos de medición de la iluminancia

Figura 2.1

Los puntos denominados A1,A2,A3,B1,B2,B3,C1,C2,C3,D1,D2,D3, son los puntos de control en los cuales se realizó la medición de la iluminancia. El área que cubre los puntos de control es el área efectiva donde se realiza el trabajo de granallado. En cada uno de los puntos de control se realizaron dos mediciones, la primera a 0,75 m del piso, la segunda a 1,1 m que son las alturas recomendadas para este tipo de trabajo. Esta metodología es la recomendada por la norma **COVENIN** 'Iluminancias en tareas y áreas de trabajo'.

Equipos:

Para las mediciones se usó Luxómetro marca Yokogawa tipo 3281 con una apreciación de ± 5 Lux en la escala menor (0-300), ± 20 Lux En la escala media (0-1000), ± 50 Lux en la escala mayor (0-3000).

Resultados:

A continuación se muestra la tabla de resultados obtenidos de las mediciones:

Sección de control				A	B	C	D	Intensidad promedio en la Cámara de Granallado
Distancias a partir del piso (m)	0.75	Puntos de control	1	140,0	90,0	60,0	50,0	86,7
			2	140,0	100,0	70,0	60,0	
			3	140,0	80,0	60,0	50,0	
	1.1		1	160,0	100,0	60,0	50,0	91,7
			2	160,0	100,0	70,0	60,0	
			3	140,0	80,0	60,0	60,0	

Valores de la iluminancia en la cámara de granallado

Tabla 2.1

El nivel de iluminancia de la cámara de granallado a 0,75 m y a 1,1 m sobre el nivel del piso tiene un valor promedio de 86,7 Lux y 91,7 Lux respectivamente. Los valores antes mencionados están muy por debajo de lo establecido en las normas mencionadas al inicio del capítulo.

Observaciones y Comentarios:

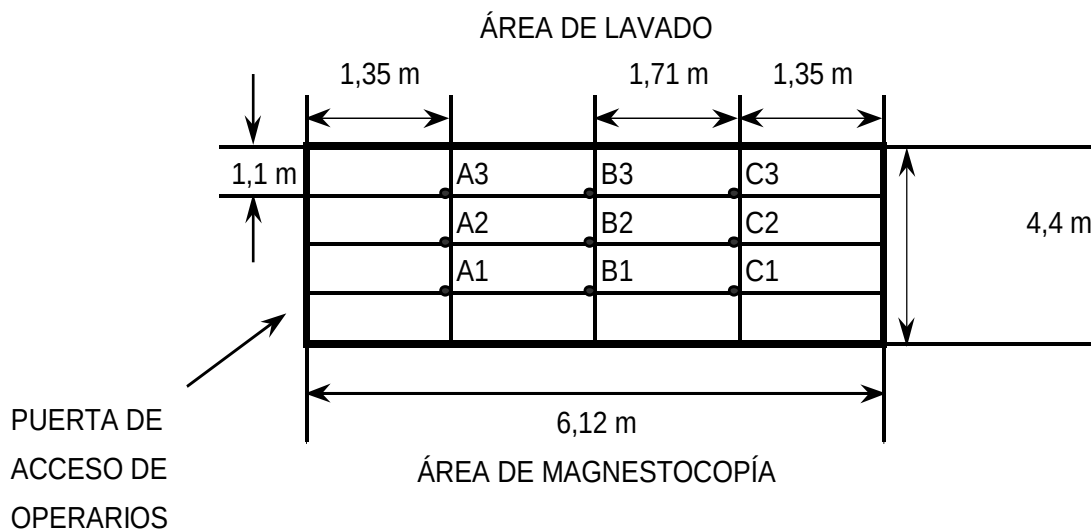
- La iluminación de la cámara de granallado proviene de seis luminarias del tipo herméticas con dos lámparas fluorescentes por luminaria, ubicadas a 3,3 m de altura, dispuestas y separadas simétricamente en dos filas a lo largo de la misma. Todos los protectores de las mencionadas luminarias se encuentran sucios y llenos de polvo, esta condición hace que la capacidad de iluminación se encuentre disminuida, las luminarias presentes no son del tipo antiexplosivas. Se observó que cuatro de las doce lámparas no funcionan.

2.3.3 SISTEMA DE VENTILACIÓN Y FILTRADO:

El análisis del sistema de ventilación de la cámara se efectuó con la finalidad de precisar varios aspectos de gran importancia en este tipo de sistemas, ya que involucra la seguridad del operador así como también la calidad del trabajo que ahí se realiza.

Metodología:

El comportamiento, distribución y rango de la velocidad de captura del aire dentro de la cámara se realizó dividiendo el área de la planta de la cámara según como se muestra en el siguiente croquis:



Puntos de medición de la velocidad del aire en la cámara de granallado

Figura 2.2

Los puntos denominados A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, C2, C3, son los puntos de control en los cuales se realizó la medición de la velocidad del aire. En cada punto de control se realizaron cuatro mediciones, la primera a 0,5 m del piso, la segunda a 1,0 m, la tercera a 1,5 m y la cuarta a 2,0 m. Luego, se obtuvo un promedio de estas velocidades con la finalidad de tener una velocidad promedio de conjunto por punto de control a fin de compararlas con las normas.

Equipos:

Para estas mediciones se usó un termoanemómetro marca Digital Instrument con una apreciación de $\pm 0,1$ m/s para la velocidad del aire y una apreciación de $\pm 0,01$ °C para la temperatura.

Resultados:

A continuación se presenta la tabla de datos con los resultados obtenidos de las mediciones:

Sección de Control	Puntos de control	Distancias a partir del piso (m)				Velocidad Promedio (m/s)
		0,5	1	1,5	2	
A	1	0,0	0,2	0,3	0,3	0,2
	2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2
	3	0,2	0,2	0,6	0,0	0,3
B	1	0,5	0,2	0,4	0,2	0,3
	2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,3
	3	0,4	0,2	0,2	0,5	0,3
C	1	0,4	0,2	0,4	0,6	0,4
	2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,2
	3	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1

Valores de la velocidad del aire en la cámara de granallado

Tabla 2.2

Observaciones y Comentarios:

- La distribución de la velocidad de captura del aire en el interior de la cámara presenta un comportamiento no uniforme, debido a la inexistencia de rejillas y/o difusores de suministro de aire limpio que direccionen el mismo hasta el conducto de extracción.

- La entrada de aire de la cámara se logra por medio de las abolladuras y grietas que presentan las puertas y por diferentes orificios en el techo por donde entran los conduits que alimentan el sistema de iluminación, es decir, la entrada de aire a la cámara es totalmente anárquica.
- La temperatura promedio en la cámara de granallado fue de 28 °C esto sin operarios, ni equipos de operación. Esto indica que las condiciones son excesivas para el trabajo que ahí se realiza desde el punto de vista de confort.
- Actualmente el sistema de ventilación de la cámara extrae un valor del caudal volumétrico de 1,364 m³/s (a condiciones estándar) de aire contaminado. Como se puede observar la cámara de granallado no cumple con las condiciones mínimas de extracción de aire contaminado expuesto en las normas al principio del capítulo.
- El sistema de extracción es deficiente, ya que, se observó polvo en suspensión en el interior de la cámara al estar activo durante el proceso de granallado.
- La campana de extracción es una abertura circular de 0.305 m (12") de diámetro ubicada en la pared, cerca de la puerta del operador, tiene a 15 cm separada de esta, una pantalla cuadrada de 90 cm de lado, metálica y con una capa aislante de goma, la cual obstaculiza el desplazamiento de aire contaminado y perjudica la velocidad de captura.

- Se observó que el techo que protege el área donde se ubica el colector se encuentra así como también el interior de la chimenea de salida del aire del ventilador esta cubierto por una capa de polvo, esto nos da un indicio de la ineficiencia de los filtros seleccionados para este colector de polvo.
- El colector de polvo que actualmente existe en la cámara, el cual posee 10 elementos de filtrado de aire, no cumple con las especificaciones técnicas del catálogo, ya que su caudal volumétrico permisible es de 12500 m³/h y el sistema esta manejando 40910,4 m³/h.
- Se encontró trazas de aceite en el polvo ya filtrado, en forma de una masilla, que nos indica el paso de aceite en la tubería de aire comprimido que sirve para la limpieza de los filtros.

2.3.4 SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE ABRASIVO:

- El sistema de recolección de abrasivo actual es del tipo neumático de baja capacidad, ubicado en el área de magnetoscopia. El lugar de ubicación de este sistema se encuentra sucio, poco iluminado, ventilación escasa y el mantenimiento de los equipos se observa muy deficiente.
- La manguera de recolección presenta parches a lo largo de ella para evitar fuga de abrasivo cuando es recolectado hacia la tolva de suministro, además esta manguera no presenta la boquilla especial para la recolección.

- Los operadores opinan que el proceso de recolección de la granalla es lento y tedioso.
- Este sistema de recolección por su misma condición de baja capacidad y el poco espacio para realizar la labor de decapado, genera que la granalla metálica quede regada en el suelo durante largos períodos de tiempo, mezclándose con basura, por ende degradándola y contaminándola afectando la pieza ya granallada.

2.3.5 EQUIPOS ASOCIADOS:

a) COMPRESOR:

- El piso donde se ubica el compresor está lleno de aceite, colillas de cigarro, vidrio, papeles y polvo, lo que indica que el compresor podría presentar fugas de aceite, el radiador del sistema de enfriamiento del compresor está cubierto de una pasta o masilla de pintura proveniente del área de fondeo. Además, los operarios no tiene definido el período de mantenimiento.
- No se observó señalización de seguridad o precaución en los alrededores del compresor.
- No presenta ningún tipo de alarma y/o filtros internos para la detección de monóxido de carbono, polvo y niebla de aceite, en la línea de aire comprimido. Todo lo mencionado anteriormente va en contra de lo establecido en las normas

del **Consejo Interamericano de Seguridad y la norma ANSI Z9.4** para este tipo de trabajos.

- El manómetro del compresor indicó una presión de aire de 758.4233 kPa (110 Psi), para el momento en que se está granallando, según CLEMCO Inc. la presión a la salida de la boquilla debe estar dentro del rango de 620,5 - 758,42 Kpa (90-110 Psi), lo que indica que la presión a nivel de la boquilla de granallado podría estar por debajo de lo especificado, afectando el proceso de limpieza de las partes y piezas.

b) FILTRO DE ACEITE:

- El filtro de aceite se encuentra dentro del área donde se ubica el compresor, muy cerca de éste. Este filtro no se le pudo determinar el tiempo de mantenimiento, además de no estar filtrando correctamente, ya que está dejando pasar aceite a la línea de aire comprimido.

c) SEPARADORES DE HUMEDAD:

- Existen dos separadores de humedad, uno se encuentra en la tubería de aire que va a la aspiradora neumática, el otro está en la línea de aire que va al colector de polvo. Ambos se encuentran llenos de polvo y presentan gotas de aceite en la parte inferior. Cabe destacar, la inexistencia de estos separadores antes del filtro de aire del casco y uno antes de la máquina de granallar.

d) TRAMPAS DE AGUA:

- Existen tres trampas de agua de descarga manual en la línea de aire comprimido, una a la entrada de la máquina de granallar, otra está en la línea de aire que va al casco del operador y la última para capturar el agua en la tubería de aire que va al colector para la limpieza neumática de los filtros de este. Las tres trampas contienen una mezcla de aceite y agua.
- La trampa de agua de la línea del operador tiene un manómetro, el cual indicó una presión entre 276-414 kPa (40-60 psi), al momento de realizar el granallado. Estando estas presiones por debajo de lo recomendado por CLEMCO Inc.

e) EQUIPO PARA GRANALLAR:

- El recipiente a presión en la tolva que sirve de depósito tiene las siguientes dimensiones 0.60 m de diámetro y 0.85 m de altura, este posee un tamiz que proporciona protección a la máquina de la entrada de agentes extraños(basura), y el cual es una malla metálica cortada a la medida del diámetro de ésta. Esta malla se encuentra rota en los bordes, no cumpliendo así su función protectora, por lo que al levantar el tamiz se observó en la tolva granallas mezcladas con restos de pintura y otros.
- La tolva no tiene la tapa que protege a la granalla de la humedad.

- La manguera encargada de transportar la granalla de la tolva a la boquilla presentó parches de cinta adhesiva para evitar las fugas de granallas.
- La boquilla no presentó conexión de puesta a tierra para evitar la acumulación de cargas eléctricas estáticas.
- El dispositivo de accionamiento se encontró unido a la manguera de transporte de granalla con cinta adhesiva y con sujeciones plásticas. Los operarios utilizan un tornillo como pasador en el dispositivo para que no se accione el chorreado de granalla. Este dispositivo no presenta un mecanismo de seguridad de cierre automático o que evite que se accione si se deja caer al suelo como lo especifica el Consejo Interamericano de Seguridad.

5.3.6 EQUIPO DEL OPERADOR:

- Los guantes que usan los operarios son de corte alto y se encontraron en buen estado. El calzado de los operarios son botas dieléctricas y también se encuentran en buen estado.
- La braga tiene un refuerzo de cuero en la parte frontal. Se encontró muy deteriorada y sucia. Los operarios opinan que la braga es muy caliente, también informaron que se siente la granalla en las rodillas y codos cuando rebota de la superficie de los chasis y traviesas.

- El casco y el peto se encuentran muy sucios (polvo) tanto interior como exteriormente.
- El visor exterior del casco es reemplazado debido a los impactos de granallas. Es importante señalar que este vidrio no es un vidrio templado o plástico transparente resistente al impacto, sino que es un vidrio comercial prohibido para estos usos. Se puede observar que después de granallar, se encontró algunas granallas entre el vidrio y el marco que lo sostiene.
- La manguera de suministro de aire que llega al casco presenta parches en la unión y a lo largo de ésta.
- El filtro de aire del operador presenta fugas en la conexión de la manguera que sale al casco y está lleno de polvo. El filtro se encuentra decapado, lo que indica que el operador en el granallado pasa el chorro de abrasivos por toda la cámara sin precaución, afectando sus propios equipos. El manómetro de éste, no se encuentra operativo.

En resumen de la inspección realizada a la de Cámara de Granallado se puede decir que:

- Desde el punto de vista del dimensionamiento y puertas, debe ser rediseñada y/o acondicionada la cámara, para mejorar las condiciones de trabajo que ahí se realizan.

- Desde el punto de vista de iluminación, la cámara de granallado no cumple con ninguna de las recomendaciones y/o normativas recomendadas.
- La cámara de granallado respecto al sistema de ventilación no cumple con ninguna de las indicaciones técnicas y/o normativas existentes.
- Desde el punto de vista del sistema de recolección de abrasivos (con las actuales dimensiones), posee una baja capacidad de recolección y debe ser rediseñada a fin de optimizar el proceso.
- Se deben revisar los procedimientos de uso, niveles de protección, rangos de operación y mantenimiento de los equipos involucrados con el proceso de granallado.

3. DISEÑO DE LA CAMARA DE GRANALLADO.

3.1. GENERALIDADES.

En este capítulo se especifican las características, consideraciones y condiciones de la cámara de granallado en lo referente a: las dimensiones de la cámara con sugerencias para la construcción de ésta, la selección del tipo de puertas a través de un análisis comparativo en una matriz morfológica.

3.2. SELECCIÓN DE LAS NUEVAS DIMENSIONES DE LA CÁMARA DE GRANALLADO.

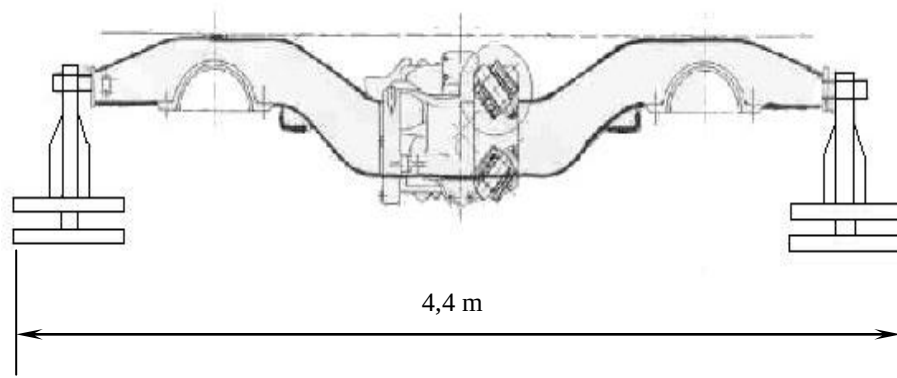
Las dimensiones de las piezas de los trenes que se van a someter al proceso de granallado, son de una longitud significativa (4,4 m), por lo tanto la cámara debe poseer dimensiones adecuadas para el proceso.

Se realizó una entrevista con la Gerencia de Seguridad Industrial y la División de Procesos de Ingeniería de CAMC, en la cual se acordó el espacio disponible en el patio de trenes, de ser necesario aumentar las dimensiones de la cámara, sin interferir con la línea de mantenimiento que se hace en las zonas adyacentes.

3.2.1. Consideraciones para realizar el diseño de la cámara de granallado:

La seguridad del operador al movilizarse dentro de la cámara como lo establecen la norma ANSI Z9.4 "Abrasive blasting operations, ventilation and safe practices for exhaust systems", al momento de realizar la limpieza con chorro de abrasivos y tomando en cuenta las referencias de CLEMCO (empresa trasnacional) para cámaras similares de granallado, conducen a realizar las modificaciones en las medidas de la cámara, tomando las siguientes consideraciones:

- a) Espacio interior suficiente: al estar la pieza de trabajo en el interior de la cámara, el operador debe movilizarse holgadamente con el equipo de protección y trabajo, alrededor de ésta, sin poner en peligro su integridad física.
- b) Longitud de la pieza de mayor tamaño: la pieza de mayor tamaño que es trabajada en la cámara, es el semi-chasis del Bogie. Las dimensiones de este elemento del material rodante son 3,4 m de largo y 1,2 m de ancho. Los apoyos en los cuales se coloca el bastidor para ser granallado, poseen las siguientes dimensiones 0,320 m de largo, 0,610 m de ancho y 1,030 m de alto. En base a las dimensiones expuestas anteriormente se concluye que el conjunto posee las siguientes características: un ancho de 1,20 m, un largo de 4,40 m y una altura de 1,10 m (Figura 3.1).



Conjunto chasis - apoyos
Figura 3.1

- c) Protección de las paredes, techo y puertas de la cámara: debe haber espacio suficiente entre la pieza de trabajo y las paredes, techo y puertas de la cámara para disminuir el daño que ocasiona el rebote aleatorio de las granallas contra éstas, así como también el riesgo a los operadores.

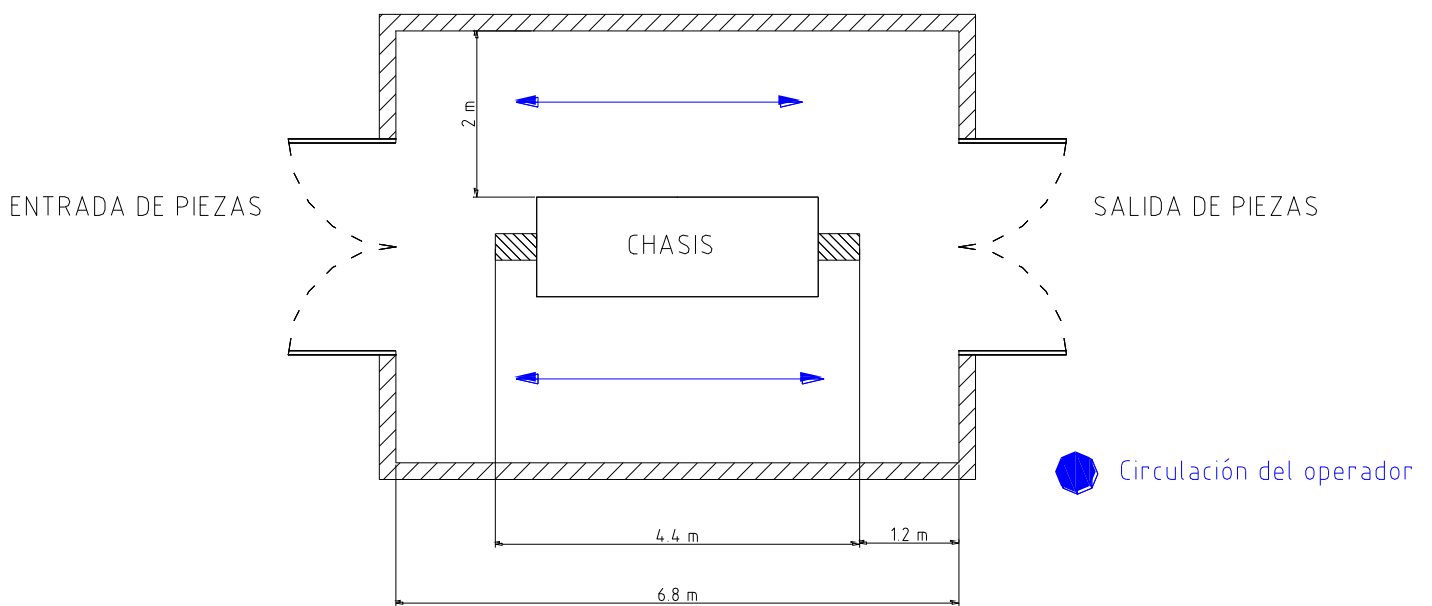
3.2.2. Justificaciones del dimensionamiento de la cámara:

Para la elección de las medidas internas que debe poseer la cámara de granallado se plantea lo siguiente:

1. El largo de la cámara incluye 1,20 m de longitud (desde el conjunto chasis-apoyos) en cada extremo (Figura 3.2), para permitir el paso holgado y la seguridad del operador durante el proceso de granallado, además de la prevención de daños a las puertas y paredes durante la maniobra de entrada y

salida de la pieza de la cámara; por lo tanto la longitud interna de la cámara es 6,80 m, lo cuales son 4,4 m de largo de la pieza y 1,20 m de holgura de cada lado.

2. El ancho de la cámara, incluye 2,00 m por cada lado (desde la pieza), debido que el trabajador realiza la operación de granallado a lo largo de la pieza recorriéndola con una separación de 0,50 m aproximadamente entre la pieza y la boquilla para obtener el acabado requerido. El ancho de la cámara resultante es 5,20 m (Figura 3.2), de los cuales son 1,2 m de ancho de la pieza más 2 m de espacio de maniobra de cada lado de ésta.



Disposición de la pieza en la cámara de granallado

Figura 3.2

3. La altura del techo no se modificó, debido a la viga de perfil IPN-24 (Anexo 3.1), que atraviesa el techo, la cual sirve como riel para el carro-grúa de traslado de piezas. Al alterar la altura y el nivel de la viga se modificaría la continuidad en la línea del taller de mantenimiento, ubicado dentro de la estructura de Patio 1 (Propatria); por lo tanto la altura de la cámara de granallado es de 3.44 m.

En resumen, las dimensiones internas apropiadas para la cámara de granallado son 6,80 m de largo, 5,20 m de ancho y 3,44 m de alto.

3.3 CONDICIONES DE DISEÑO PARA LA CÁMARA DE GRANALLADO.

Este trabajo hace una propuesta respecto a que tipo de estructura se considera conveniente para la construcción de la cámara. Finalmente será el personal de proyectos de la empresa, quienes modificarán esta propuesta basándose en cálculos y estudios realizados con respecto al suelo, la estructura anterior edificada, etc. Se toma en consideración los siguientes materiales para la construcción de la cámara:

- Las paredes de la nueva cámara deben ser construidas con bloques de concreto Aliven (Anexo 3.2) o similar, para minimizar la carga térmica y acústica. Estos bloques presentan un coeficiente de conductividad térmica bajo

($k = 1.45$) y un coeficiente de aislamiento acústico bueno (46dB), alta resistencia al fuego, livianos, bajo costo, etc (Anexo 3.2).

- Por sugerencia de la División de Proyectos Civiles de la CAMC, el techo debe ser construido con losas de tabelones (Anexo 3.2) de 0,60 m de alto, 2,00 m de ancho y 8,00 m de largo y perfiles IPN 100 (Anexo 3.1), para asegurar su resistencia a las cargas generadas por el sistema de ventilación que se ubicará en éste.
- Las paredes y puertas del interior de la cámara deben estar cubiertas con laminas de caucho, tipo relieve, largo 748 mm, ancho 672 mm, espesor 3,5 mm. Para protegerlas de los impactos del chorro de abrasivo que las deteriora disminuyendo su vida útil (Anexo 3.3).
- El piso de la cámara debe ser construido con un material de superficie antiresbalante, para disminuir el riesgo de accidentes en la cámara.

Todas las modificaciones en las dimensiones de la nueva cámara de granallado están dentro de la recomendación de la norma ANSI Z9.4 También es importante hacer notar que la elección de estas medidas en particular es influenciada directamente por el lugar de desalojo y la escalera de emergencia que se encuentran cercanas a la cámara de granallado.

3.4 DETERMINACIÓN DE LAS PUERTAS DE LA CÁMARA DE GRANALLADO.

En la cámara de granallado deben existir dos tipos de puertas según su función, primero las puertas de entrada y salida de piezas y segundo la puerta de escape o emergencia del operario. Estas puertas deben cumplir con los siguientes requerimientos:

- Herméticas y livianas.
- Resistentes a las condiciones de trabajo y atmosféricas a las cuales van a estar expuestas.
- Facilidad de instalación.
- Mantenimiento bajo.
- Deben servir como puertas de emergencia, es decir, el sentido de apertura de adentro hacia fuera.
- Deben poseer un visor de seguridad que cumpla con la norma ANSI Z9.4 y la norma COVENIN 199-79 "Vidrios de seguridad".

3.4.1 Puerta de entrada y puerta de salida de piezas:

La puerta de entrada y la puerta de salida de piezas son del mismo tipo. Estas puertas deben cumplir con los requerimientos explicados anteriormente y con la norma COVENIN 644-78 "Puertas resistentes al fuego, batientes". Para obtener una selección correcta en el tipo de puerta a instalar se observaron las diferentes características de las distintas puertas a estudiar y luego selecciona la mejor alternativa de las soluciones.

3.4.1.1 Características de las distintas puertas:

Para hacer la selección de los tipos de puertas que se deben instalar en la cámara, se compara en una matriz morfológica las características que son necesarias en ellas como es la hermeticidad, la manejabilidad, el costo y el mantenimiento; además de adaptarse a la viga guía del carro-grúa que la atraviesa, lo que reduce la variedad de puertas para la limpieza por chorro de abrasivos.

I. Puerta deslizando:

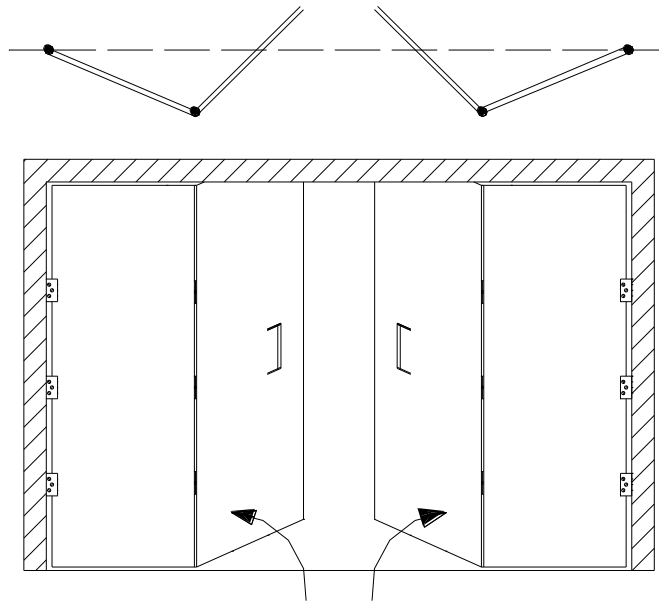
- Pueden ser de una o más hojas.
- Se pueden construir de diferentes materiales.
- Se abren hacia los lados.
- Son susceptibles a la acumulación de polvo, debido a que requieren de rieles y ruedas para su funcionamiento
- Presentan poca hermeticidad.
- Su costo de instalación y mantenimiento son altos.



Puertas deslizando
Figura 3.3

II. **Puerta batiente de varios cuerpos:**

- Poco herméticas.
- Cada cuerpo está conectado a otro por un conjunto de bisagras.
- Poca manejabilidad en la apertura.
- Bajo costo.



Puerta batiente de varios cuerpos
Figura 3.4

III. **Puerta batiente de dos cuerpos:**

- Son herméticas.
- Utilizan pocas bisagras para su movilidad.
- Se pueden construir de diferentes materiales.
- Bajo costo.



Puerta batiente de dos cuerpos

Figura 3.5

3.4.1.2 Matriz de selección:

En este punto del proceso de diseño, se toma para la evaluación de las alternativas planteadas, una herramienta muy útil llamada "Matriz de selección o Matriz morfológica", que define los factores a considerar asignándoles un valor porcentual según la importancia que tenga cada factor, para seleccionar la puerta adecuada en la cámara de granallado.

Para realizar la evaluación de cada solución propuesta se toma en cuenta la siguiente escala de puntuación:

Deficiente = 1

Aceptable = 2

Bueno = 3

Muy bueno = 4

Excelente = 5

Luego para obtener el valor final, se multiplica la puntuación anterior de cada propuesta por el valor asignado en porcentaje y se suman todos los resultados para así obtener el total a comparar entre las distintas soluciones.

Parámetros que se deben considerar en la selección del tipo de puerta para la cámara de granallado:

- a. Hermeticidad:** las puertas deben evitar que la limpieza por chorro de abrasivo perjudique la integridad física de los operadores que se encuentran en el exterior de la cámara.
- b. Mantenimiento:** es el recurso económico y humano que se invierte para que la puerta se encuentre dentro de los parámetros de diseño.
- c. Manejo:** es la facilidad de movilidad que debe poseer las puertas debido a su tamaño y peso.
- d. Adaptación con la edificación:** es la posibilidad de lograr un montaje correcto de las puertas sin realizar cambios significativos en las edificaciones cercanas.
- e. Seguridad industrial:** las puertas deben proporcionar una vía de escape al operador dentro de la cámara.

f. Costo inicial: es el gasto económico que se debe realizar para adquirir e instalar las puertas.

Parámetros	%	I	II	III
Hermeticidad	30	1	2	4
Mantenimiento	24	1	4	4
Manejo	16	3	2	5
Adaptación con la edificación	8	1	2	4
Seguridad Industrial	10	2	2	4
Costo inicial	12	2	4	4
Total	100	1.54	2.72	4.16

Matriz de selección de puertas para la cámara de granallado

Tabla 3.1

La ponderación en porcentaje elegida para cada parámetro de la matriz de selección de las puertas, de acuerdo con su importancia es:

- **Hermeticidad 30%**, posee el mayor puntaje, debido a la seguridad que representa para los operadores del área.
- **Mantenimiento 24%**, debido que implica un gasto económico continuo, además de influir en el correcto funcionamiento de las puertas.
- **Manejo 16%**, la fácil apertura y manipulación de las puertas implican que las piezas no las golpeen, además de la

seguridad del operador al poder usarlas como puerta de emergencia.

- **Adaptación con la edificación 8%**, el emplazamiento de la cámara de granallado se encuentra demarcado por la estructura de los talleres de patio, las cuales no pueden ser modificadas.
- **Seguridad industrial 10%**, las puertas deben garantizar que el operador pueda evacuar al presentarse algún percance.
- **Costo inicial 12%**, el costo de las puertas es dado por la cantidad de acero, tratamiento térmico y aleaciones empleado en su construcción, para las distintas alternativas de puertas comparadas en la matriz morfológica, las dimensiones y la instalación de las puertas no tienen una variación significativa, por lo tanto sus costos son similares.

De acuerdo con la matriz morfológica de selección el tipo de puerta apropiado para instalar en la cámara de granallado es la puerta batiente de dos cuerpos.

Se observa que la puntuación obtenida en el manejo de este tipo de puerta es la mayor en comparación con los otros tipos, por que la manipulación de ésta, es la más fácil y es de manejo rápido.

La hermeticidad que proporciona este tipo de puerta a la cámara es la mayor, debido a que, sólo posee dos cuerpos, obteniéndose el menor escape de aire contaminado o granallas al exterior de la cámara de granallado.

El tipo de puerta seleccionado es el que posee menor cantidad de componentes y/o piezas, por lo tanto el gasto económico y mantenimiento realizado a la puerta durante su vida útil es menor.

El área disponible para la instalación de la puerta es la limitada por las paredes de la cámara de granallado. En el techo de la cámara se encuentra una viga de perfil doble T con la cual se logra el traslado de las piezas en el recinto, por lo tanto el tipo de puerta que se adapta a la viga es el seleccionado.

En caso de presentarse alguna eventualidad en el interior o en los alrededores de la cámara el tipo de puerta seleccionado proporciona el menor impedimento para el escape.

3.4.1.1 Características del tipo de puerta seleccionado:

El modelo de puertas seleccionado para la entrada y la salida de las piezas de la cámara deberá cumplir con las siguientes especificaciones:

1. De las medidas del chasis 3.4 m de largo y 1.2 m de ancho se toman las dimensiones de la puerta que deben ser: 3.44 m de altura, y 1.80 m de ancho, para permitir el fácil acceso por medio del carro-grúa a las piezas de trenes sin golpear las puertas. Figura 3.6
2. Cada puerta debe presentar un visor de vidrio de seguridad armado o reforzado con malla metálica de un espesor mínimo

de 7 mm, resistente al impacto del chorro y ha ser rayado por las granallas. El área del vidrio será de 400 mm de ancho por 300 mm de alto, a una distancia de 1,60 m del piso (Figura 3.6), para que los operadores ubicados en el exterior puedan observar al presentarse una emergencia dentro de la cámara.

3. Las puertas deben presentar en la parte superior un diseño especial como el mostrado en el detalle A (Figura 3.6), para la viga guía del carro-grúa, las dimensiones y la ubicación de éste garantizan que no exista fugas de abrasivos por esta vía.
4. Las puertas deberán estar construidas de tal forma que la holgura máxima entre los bordes de encuentro no sea mayor de 3 mm, para mantener la hermeticidad.
5. El material metálico usado en la fabricación de las puertas debe ser resistente y ligero para una apertura más cómoda para el operador.

3.4.2 Puerta de escape o emergencia:

La función de esta puerta es permitir el escape del operario que se encuentre en la cámara en caso de una emergencia. Entre las especificaciones para este tipo de puertas de la norma **COVENIN 644-78** "Puertas resistentes al fuego, batientes" y la norma ANSI Z9.4 para cámaras de granallado, se mencionan las siguientes:

1. Las dimensiones de la puerta serán 0,90 m de ancho, 2,10 m de alto y un espesor de 45 mm. El sentido de apertura de la puerta debe ser del interior de la cámara hacia el exterior, para permitir un fácil escape al operador al presentarse una emergencia.
2. Contar con cerraduras siempre libres desde el interior hacia el medio de escape y con un mecanismo apropiado para mantenerla cerrada cuando no está en uso (Anexo 3.3).
3. Debe poseer un visor con características similares a las descritas en las puertas de piezas, para que los operadores externos adviertan cualquier emergencia dentro de la cámara.



Puerta de emergencia
Figura 3.7

4. DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN.

4.1 GENERALIDADES.

En este capítulo se diseña el sistema de ventilación adecuado para la Cámara de Granallado bajo la normativa nacional (COVENIN) e internacional (ACGIH y ANSI Z9.4). La secuencia de diseño que se emplea es la siguiente:

- a)** Estimación del caudal volumétrico de aire a utilizar por el sistema según las normas.
- b)** Diseño del sistema de suministro de aire.
- c)** Diseño del sistema de extracción de aire contaminado.
- d)** Cálculo de las pérdidas por fricción por medio de un método normalizado.
- e)** Selección del filtro del sistema de extracción del aire contaminado.
- f)** Selección del ventilador.

4.2 SISTEMAS DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA.

Los sistemas de extracción localizada se diseñan para captar y eliminar los contaminantes antes de que estos se dispersen en el ambiente general del local de trabajo.

4.2.1 Funciones del sistema de ventilación:

El sistema de ventilación para la cámara de granallado posee las siguientes funciones:

- La eliminación de cualquier tipo de partícula (resultante del proceso de limpieza), que esté suspendida dentro del ambiente de la cámara, evitando así: problemas referidos a la Concentración Ambiental Máxima Permisible (CAMP)¹, inconvenientes dados por la Concentración Mínima Explosiva (LIE)² de cualquier polvo involucrado en el proceso y disminución de los niveles de iluminación.
- Evitar cualquier tipo de contaminación de las áreas adyacentes a la cámara de granallado y el medio ambiente.

Para que se cumplan las funciones anteriores el sistema de ventilación debe estar constituido por dos subsistemas: el sistema de suministro de aire y el sistema de extracción de aire contaminado.

El sistema de suministro de aire tiene como función, el manejar y dirigir en forma controlada un volumen de aire tomado del exterior de la cámara, bajo ciertas condiciones y normativas, evitando la formación de nubes de polvo al momento de granallar y

¹ CAMP: concentraciones medias ponderadas en el tiempo a los cuales los trabajadores pueden estar expuestos a contaminantes aéreos 8 horas al día durante largos períodos de tiempo sin efectos adversos (valores guía de control de riesgos).

² LIE: límite inferior de explosividad de un gas o vapor a temperatura ambiente expresada en porcentaje en volumen del gas o vapor en aire.

fugas de polvos contaminantes hacia la atmósfera (esto se logra por medio de infiltraciones de aire).

El sistema de extracción, tiene como función, la captación, transporte y filtración del aire contaminado que se produce en la cámara. Cabe destacar, que el sistema de suministro dependerá del caudal volumétrico de aire que extraiga el sistema de extracción.

4.3 CÁLCULO DEL CAUDAL VOLUMÉTRICO DE AIRE A MANEJAR POR EL SISTEMA DE VENTILACIÓN.

Para determinar el caudal volumétrico de aire que va a manejar el sistema, se debe realizar una comparación entre los dos métodos usados para este tipo de casos, como son el método de cambios de aire por hora y el método de velocidad por área, los cuales están especificados en el manual de la ACGIH "Ventilación Industrial", y en la norma ANSI Z9.4 "Abrasive blasting operations, ventilation and safe practices for exhaust systems".

El cálculo por el método de cambios de aire por hora, indica cuantas renovaciones de aire se deben realizar en la cámara de granallado, durante una hora, que al ser multiplicado este valor por el volumen de la cámara, da como resultado el caudal necesario para el sistema. La norma ANSI Z9.4 expresa que para cámaras de limpieza por chorro de abrasivos son necesarios 30 cambios/h.

$$Q = \text{factor} * \text{volumen de la cámara}$$

$$Q = 60^{\text{cambio}/h} * 121,6384m^3$$

$$Q = 7298,304 \frac{m^3}{h} = 2,027 \frac{m^3}{s} = (4295,62 PCM)$$

El cálculo por el método de velocidad por área se calcula multiplicando un factor por un área. Para la selección del factor se considera:

1. El tipo de abrasivo empleado en la cámara, granalla metálica.
2. El tipo de suministro de aire, flujo descendiente, corriente de aire descendiente o corriente cruzada.
3. El área de la pared más pequeña de la cámara de granallado, que en este caso es $17,88 \text{ m}^2$ ($192,54 \text{ pies}^2$).

Con los datos suministrados el factor es $0,1016 \text{ MCS/m}^2$ (20 PCM/pies^2) de la Tabla A1 de la norma ANSI Z9.4 (Anexo 4.1), tomando en cuenta un factor de seguridad se selecciona el factor inmediato superior que es 30 PCM/pies^2 , los cálculos se realizaron en base a este último valor.

$$Q = \text{factor} * \text{área total del piso de la cámara}$$

$$Q = 30^{\text{PCM}/\text{pie}^2} * 380,61 \text{ pie}^2$$

$$Q = 11418,35 PCM = 323 \frac{m^3}{min} = 5,383 \frac{m^3}{s}$$

Comparando los valores obtenidos por ambos métodos, el método de cambio por hora $2,027 \text{ m}^3/\text{s}$ ($122 \text{ m}^3/\text{min}$) y el método de velocidad por área $5,3833 \text{ m}^3/\text{s}$ ($323 \text{ m}^3/\text{min}$), para garantizar al operario una mayor seguridad se toma el mayor valor de los métodos y además se recomienda incrementarlo en un 24%, para garantizar la eficiencia del sistema. Por lo tanto el sistema de extracción del aire contaminado debe manejar $6,67 \text{ m}^3/\text{s}$ ($400 \text{ m}^3/\text{min}$).

4.4 CONDICIONES DE FLUJO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE AIRE A LA CÁMARA DE GRANALLADO.

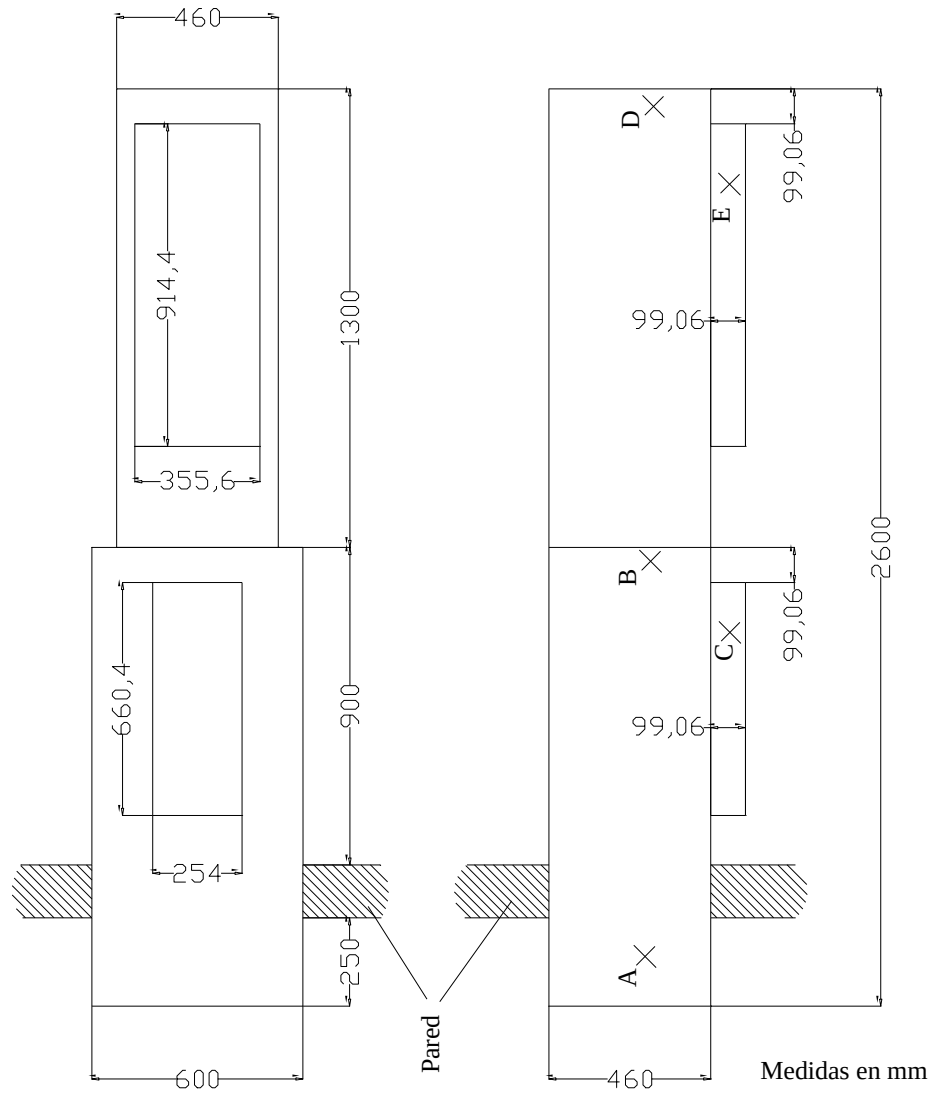
El flujo de aire que ingresa a la cámara deberá cumplir con las siguientes condiciones:

- El sistema de suministro de aire maneja $6,67 \text{ m}^3/\text{s}$, distribuidos de la siguiente forma: $6,34 \text{ m}^3/\text{s}$ de aire en un suministro propiamente dicho y $0,34 \text{ m}^3/\text{s}$ (5% del total a manejar) de aire a través de infiltraciones. Las infiltraciones son entradas de aire a la cámara por medio de las ranuras de las puertas e instalaciones de las luminarias, este valor de infiltraciones se toma para evitar fugas de aire contaminado por estas vías.
- El sistema de suministro de aire depende solamente del sistema de extracción de aire de la cámara, es decir, es de inducción pura. El sistema inductivo permite una gran flexibilidad de autorregulación del sistema, es decir, si el factor de incertidumbre disminuye, entra la misma cantidad

de aire al recinto, por aumento de entrada de aire a los ductos (sistema de suministro de aire).

- La velocidad de entrada del aire a la cámara por infiltración debe tener un máximo de 2,54 m/s (500 PPM), con el fin de no crear turbulencias que afecten la operación.
- Los 6,34 m³/s de aire que se suministran a la cámara, serán distribuidos por medio de 4 ductos. Cada ducto maneja 1,585 m³/s. La velocidad de transporte del aire dentro de los ductos estará en el orden de 5 m/s (984,25 PPM), valor recomendado por la ACGIH para el transporte de aire limpio en el ducto (Tabla 4.1).
- Los 1.585 m³/s de aire que se suministran por cada ductería serán distribuidos por medio de dos rejillas de suministro de aire; una manejará 1,1327 m³/s (2400 PCM) y la otra rejilla manejará 0,472 m³/s (1000 PCM) de aire. Su disposición se pueden visualizar en el Esquema 4.1.

Con estas condiciones se minimiza el problema de Seguridad e Higiene industrial en el interior de la cámara, debido a que el volumen de aire suministrado a la cámara, asegura que el polvo producido por la limpieza con chorro de abrasivos no debe ascender, es decir, crear una nube de polvo contaminante. Con esto se evita que el polvo se filtre o cuele por los equipos de protección del operario y entorpezca la visibilidad en el proceso.



Ductería de suministro

Esquema 4.1

Naturaleza del contaminante	Ejemplos	Velocidad de diseño (m/s)
Vapores, gases, humos de combustión	Todos los vapores, gases y humos	Indiferente (la velocidad óptima económicamente suele encontrarse entre 5 y 10 m/s)
Humos de soldadura	Soldadura.	10 - 12,5
Polvo muy fino y ligero	Hilos de algodón, harina de madera, polvo de talco.	12,5 - 15
Polvos secos	Polvo fino de caucho, baquelita en polvo para moldeo, hilos de yute, polvo de algodón, virutas (ligeras), polvo de detergente, raspaduras de cuero.	15 - 20
Polvo ordinario	Polvo de desbarbado, hilos de muela de pulir (secos), polvo de lana de yute (residuos de sacudidor), polvo de granos de café, polvo de cuero, polvo de granito, harina de sílice, manejo de materiales pulverulentos en general, polvo de arcilla, funciones, polvo de caliza, polvo en el embalado y pesado de amianto (textiles).	17,5 - 20
Polvos pesados	Polvo de aserrado (pesado y húmedo), viruta metálica, polvo de desmoldeo de fundiciones, polvo en el chorreado con arena, pedazos de madera, polvo de barrer, virutas de latón, polvo en el taladrado de fundición, polvo de plomo.	20 - 22,5
Polvo pesado húmedo	Polvo de plomo con pequeños pedazos, polvo de cemento húmedo, polvo del corte de tubos de amianto-cemento, hilos de muela de pulir (pegajosos).	> 22,5

Valores recomendados para la velocidad de diseño de conductos

Tabla 4.1

El sistema de suministro de aire es de inducción pura, debido a que si fuera realizado por ventilación forzada no se garantizaría la flexibilidad del sistema que estamos mencionando, ya que los ventiladores siempre darán un flujo constante de aire, además de ser de mayor costo.

4.5 DISPOSICIONES DE DISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE AIRE A LA CÁMARA DE GRANALLADO.

Las disposiciones de accesorios y ductería que debe tener el sistema de suministro de aire a la cámara, son las siguientes:

- Las dimensiones de la ductería de suministro son las siguientes: el largo del ducto es 2,6 m, la cual estará dividida en dos tramos de 1,3 m de longitud cada uno. La sección transversal del primer tramo A-B (Esquema 4.1) es de 460 mm de alto por 600 mm de ancho, la sección transversal del segundo tramo B-D, 460 mm de alto por 460 de ancho.
- Los ductos deben ser hechos de láminas de acero galvanizado, calibre 22, con fin de soportar las condiciones de funcionamiento e instalarse de forma permanente y correcta. Las láminas de acero galvanizado son empleadas en la construcción de ductos que transportan abrasivos (Anexo 4.2).
- Los ductos deben estar a una distancia mínima del techo y las paredes de 0,203m (8 pulgadas), a fin de permitir una instalación y mantenimiento adecuados.
- Las rejillas de suministro del aire deben ser de dimensiones 0,6604 por 0,254 metros (26*10 pulgadas) y 0,9144 por 0,3556 metros (36*14 pulgadas), tipo rddv de Rediair o similar (Anexo 4.3), porque se garantizan los $1,1327 \text{ m}^3/\text{s}$ (2400 PCM)

y los $0,472 \text{ m}^3/\text{s}$ (1000 PCM) de aire que deben ser suministrados a la cámara.

4.6 CONDICIONES DE FLUJO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DEL AIRE CONTAMINADO DE LA CÁMARA DE GRANALLADO.

Las condiciones del flujo del aire contaminado del sistema de extracción de la cámara, son las siguientes:

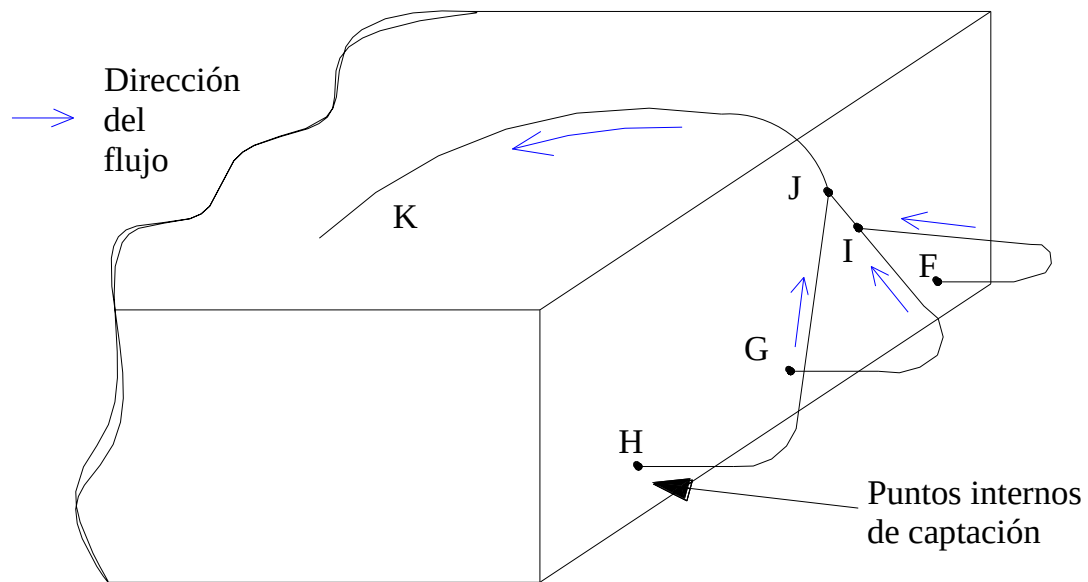
- Se desprecian los efectos del intercambio térmico. Si la temperatura en el interior del conducto es significativamente distinta de la del aire en los alrededores del conducto, se producirá un intercambio de calor. En consecuencia tendrá lugar un cambio en la temperatura en el interior del conducto y, por tanto, se modificará el caudal.
- Se considera que el aire es incompresible. Si la pérdida global de presión en el sistema supera 500 mmca aproximadamente, la densidad cambiará alrededor de un 5%, y el caudal también se modificará.
- Para efectos de los cálculos se asume que el aire es seco. La presencia de vapor de agua en el aire reduce la densidad de éste, por lo que debe efectuarse una corrección para tener en cuenta este efecto.

- Se ignoran el peso y el volumen del contaminante presentes en la corriente de aire, para así evitar variaciones en la densidad de la mezcla aire-polvo.
- El sistema de extracción de polvos de la cámara manejará $6.67 \text{ m}^3/\text{s}$ de aire, absorbido en seis (6) ductos que manejarán cada uno $1.11 \text{ m}^3/\text{s}$ (Esquema 4.2).
- Para sistemas que manejan partículas es necesario establecer una velocidad mínima de transporte en el ducto. La velocidad de diseño mínima recomendada por la ACGIH es de 20 m/s para operaciones similares al granallado (Tabla 4.1), a fin de impedir la deposición de las partículas y la obstrucción del conducto.

4.7 DISPOSICIONES DE DISEÑO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DEL AIRE CONTAMINADO DE LA CÁMARA DE GRANALLADO.

Para el adecuado funcionamiento del sistema de extracción del aire contaminado de la cámara se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Las campanas deben ser, como mínimo, entre $0,5$ y 1 mm más gruesas que los tramos rectos de los conductos, carecer de bordes afilados y rebabas, y reforzarse a fin de lograr la rigidez adecuada.



Ruta de ducterías, extracción del aire contaminado

Esquema 4.2

- En la mayor parte de las aplicaciones en ventilación industrial, control de la contaminación atmosférica y captación de polvo es recomendable el empleo de conductos de sección circular, ya que presentan una menor pérdida de carga y una mayor resistencia estructural que permite el empleo de menores espesores de chapa y menor número de refuerzos.
- Los codos deben tener un diámetro entre 2 y 2,5 veces el diámetro del conducto, cuando no halla espacio suficiente es aceptable 1,5 veces el diámetro, para mantener una velocidad igual o superior a la velocidad mínima de transporte (ver Anexo 4.4).

- Los conductos laterales se deben unir al principal en ensanchamientos progresivos con un ángulo de 30° o menor, o hasta 45° , a fin de minimizar las turbulencias y evitar la deposición de partículas (Anexo 4.5). Las uniones deben hacerse lateralmente o desde arriba, evitando que dos ramas se unan al conducto principal en el mismo punto.
- Los codos de 90° deben construirse con cinco piezas en el caso de conductos circulares hasta 150 milímetros de diámetro y con siete piezas para tamaños superiores (ver Anexo 4.6).
- Los cambios de sección de los conductos principales y secundarios deben ser progresivos. La adaptación debe ser al menos 5 veces más larga que la diferencia de diámetro o tener un ángulo de 30° (Anexo 4.5).
- Deben disponerse compuertas de limpieza en los tramos horizontales y verticales y en las proximidades de codos y uniones. Las compuertas no deben estar a más de 4 metros una de otras en conductos de diámetro inferior a 300 mm.
- De ser posible antes de la conexión al ventilador deberá disponerse de un tramo recto de longitud no inferior a seis diámetros.

- Las ducterías estarán a una distancia del techo y las paredes de 0,203 m (8 pulgadas), a fin de permitir una instalación y mantenimiento adecuados.
- Se debe instalar una conexión flexible entre el conducto y el colector (entrada y salida) y entre el conducto y el ventilador, para minimizar los efectos de las vibraciones y efectos por dilación del material.
- La forma de sostén y fijación de la ductería puede ser cualquiera que el mercado nacional ofrezca (abrazaderas metálicas soldadas, soportes colgantes, etc).

4.8 SELECCIÓN DEL FILTRO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DEL AIRE CONTAMINADO DE LA CÁMARA DE GRANALLADO.

Una vez captado el aire contaminado en el interior de la cámara de granallado, se debe conducir el aire contaminado a ciertos equipos que se encargarán de la limpieza de este, con el fin de que pueda ser descargado en la atmósfera exterior sin crear un riesgo para la comunidad y el medio ambiente.

Para una acertada selección del colector o filtro de aire contaminado se debe tener en cuenta los siguientes aspectos que aparecen por orden de importancia:

- a) Las características físico-químicas del contaminante, como tamaño de partícula, corrosión, contenido de humedad, viscosidad, combustibilidad y explosividad.
- b) La eficiencia de limpieza debe conservarse durante toda la vida útil del filtro, ser constante a través del ciclo diario de operación y ser independiente del caudal y de la concentración de polvo que entra al sistema.
- c) Para realizar la selección del filtro debe tenerse en cuenta consideraciones como: costo inicial, costo de mantenimiento, costo de operación, efectividad de retención de contaminantes, espacio necesario para su instalación, materiales de construcción, disponibilidad en el mercado local, facilidad de consecución de repuestos y la asesoría que la firma constructora y/o distribuidora pueda proporcionar.

Para la evaluación de algunos equipos del sistema de filtrado y poder hacer una comparación con las normativas internacionales, se debe realizar una caracterización de los polvos contaminantes que son filtrados por este sistema y los que no son filtrados por el mismo.

En la caracterización se emplea la técnica del análisis químico elemental semicuantitativo por dispersión de energía de rayos X (EDAX), Anexo 4.7, de este análisis se logra determinar que la composición mayoritaria del polvo contaminante es de óxido de hierro. También se determina el tamaño (rango) y la forma de

las mencionadas partículas, para la cual se emplea un microscopio de barrido electrónico marca Phillips modelo XL30 de altísima resolución. Del análisis se obtienen las siguientes observaciones:

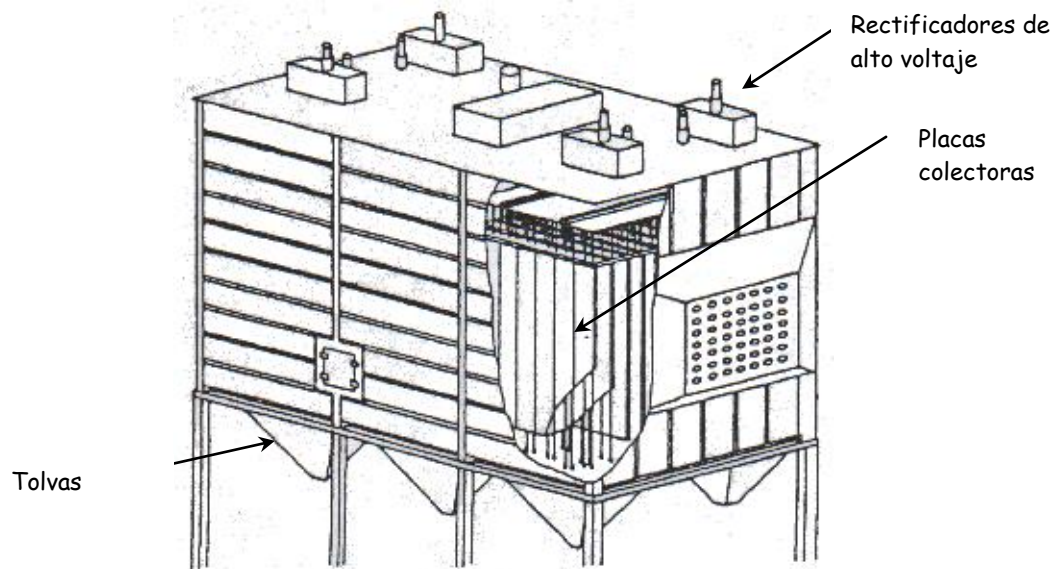
- Las partículas que son filtradas y quedan en la tolva del colector de polvo, están en el rango en su mayoría de forma angular (Anexo 4.8).
- Las partículas que no son filtradas por el sistema, cuya muestra es de la salida de la chimenea de descarga de aire limpio de la cámara de granallado, se encuentran en el rango de 1,6 hasta 24,4 μm (Anexo 4.9)

4.8.1 Tipos de sistemas de filtrado:

Los cuatro tipos principales de sistemas de filtrado que podrían aplicarse al proceso de granallado, según la ACGIH son: Precipitadores electrostáticos, Filtros de tela, Depuradores húmedos y Separadores centrífugos por vía seca.

a) Precipitadores Electrostáticos:

En este tipo de colector, el aire contaminado es succionado por el precipitador electrostático, donde las partículas son cargadas electrónicamente. Estas partículas son atraídas por placas colgantes con carga opuesta. Las partículas recolectadas son removidas al neutralizar y agitar las placas.



Precipitador Electrostático

Figura 4.1

Ventajas de los Precipitadores Electrostáticos:

- Cualquier eficiencia requerida puede ser obtenida, lográndose eficiencias hasta del 99,99%
- Todos los tamaños de partículas por debajo de 0.01 micrón pueden ser removidas.
- La caída de presión esta en el orden de 12.7 mmdca.
- Diseñado para operaciones continuas con requerimientos mínimos de mantenimiento.
- Costos de mantenimiento bajos.

Desventajas de los Precipitadores Electrostáticos:

- Altos costos de inversión inicial.
- Costos de operación altos.

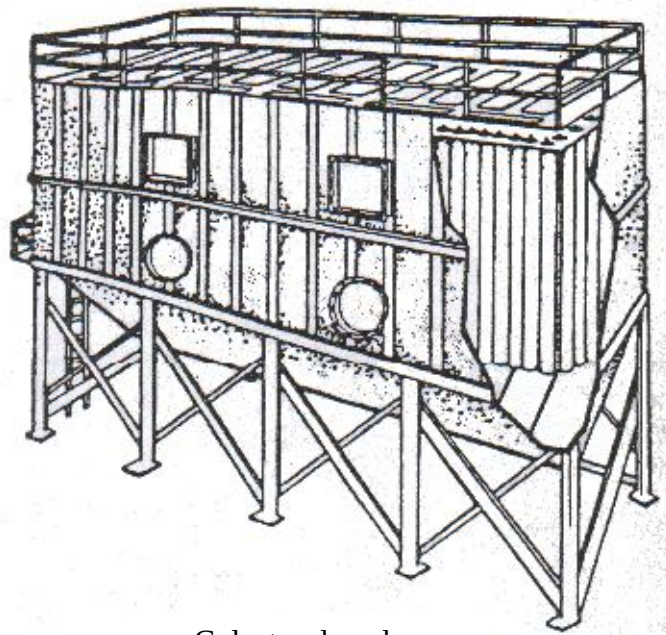
- Muy sensitivo a fluctuaciones en la conducción del gas (en particular caudal volumétrico, temperaturas, composición y cargas de partículas).
- Dificultad en la recolección de algunas partículas debido a sus características de alta o baja resistencia.
- Requerimientos de grandes espacios para su instalación.
- Precauciones especiales se requieren para su resguardo del personal, debido al alto voltaje de operación.
- Se requiere personal altamente calificado para el mantenimiento.

b) Colectores de polvo (filtro de tela):

El colector de polvo en seco, es una estructura cerrada que contiene filtros de tela en forma de cartuchos. Este sistema funciona como una aspiradora doméstica y el proceso de producción no tiene que ser detenido para limpiar los filtros. El aire contaminado es succionado entre el material de filtración para separar las partículas del aire limpio.

Todos los sistemas de filtros están compuestos de: un medio filtrante, mecanismos de limpieza, tolvas colectoras, carcazas, sistemas para la circulación del gas y los aparatos sensores y controladores necesarios.

La capacidad de la tela para dejar pasar aire a su través es la permeabilidad que se define como el volumen de aire que pasa a través de la unidad de superficie en la unidad de tiempo con una diferencia de presión de 12,5 mmcda. Los valores normales de permeabilidad para las telas filtrantes habituales están comprendidos entre 7 y 12 m³/(m² min).



Colector de polvo

Figura 4.2

Ventajas de los Filtros de Tela:

- Alta eficiencia de colección (>99%), aún para partículas mayores de una micra.
- La eficiencia de colección no es afectada por cambios en el flujo o la densidad de la corriente de aire.
- El diseño es bastante flexible, debido a disponibilidad de varios métodos de limpieza y medios filtrantes.
- La caída de presión es moderada (50,8 - 177,8 mmcda).

- Los requerimientos de potencia son moderados.
- Capacidad de manejar gran variedad de materiales sólidos.
- Los equipos son de sencilla operación.

Desventaja de los Filtros de Tela:

- Alto costo inicial.
- Grandes requerimiento de espacio.
- Requieren de gran mantenimiento.
- Posibilidad de explosión si se producen chispas cerca de los equipos.

c) Depuradores Húmedos:

Este tipo de colectores usa agua para incrementar el peso de las partículas, recolectándolas y dejando pasar el aire limpio. Los dos tipos de colectores de proceso húmedo son el de lavado en húmedo, el cual satura las partículas y las lleva a un depósito de sedimentación, y los precipitadores hidroeléctricos, los cuales saturan partículas con carga eléctrica, y transportan el líquido mediante placas con cargas opuestas.

Los colectores de proceso húmedo no son tan eficientes como los colectores tipo filtros de tela, y además presentan problemas secundarios como el de la producción de lodo contaminado.

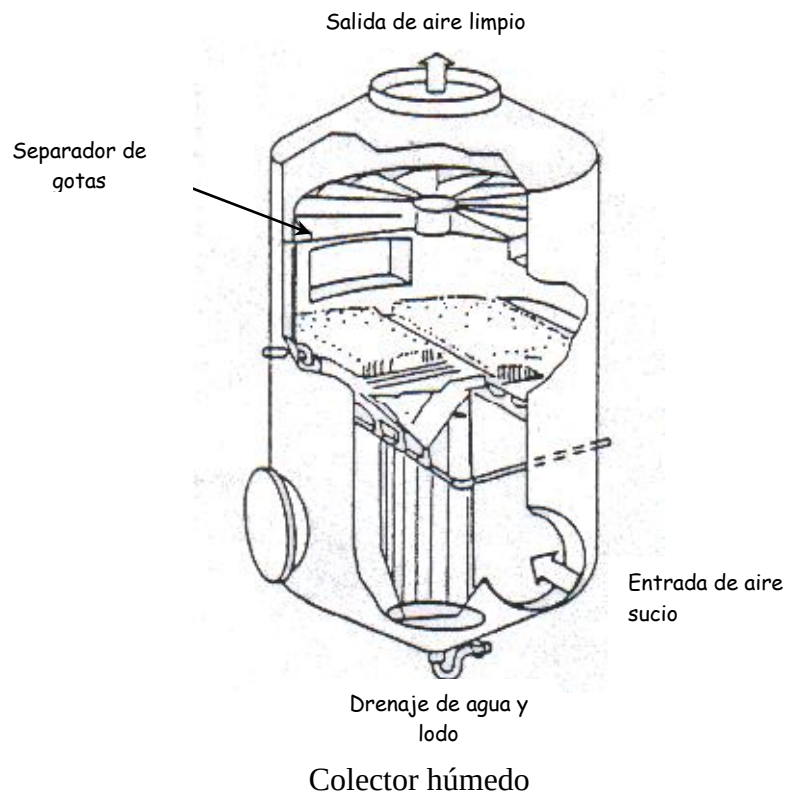


Figura 4.3

Ventajas de los Depuradores Húmedos:

- Eliminación de riesgos de explosivos e incendios cuando se manejan materiales inflamables.
- Pequeño requerimiento de espacio.
- Costo de construcción moderado.
- Poseen la propiedad de poder manejar al fluido de gas de alta temperatura y humedad.

Desventajas de los Depuradores Húmedos:

- Creación de problemas en el distribuidor del líquido.

- En algunos casos se necesita un requerimiento de potencia debido a la necesidad de crear finas gotas en las boquillas.
- Problemas y desalojo del producto húmedo recolectado, es decir, que se crea la necesidad de reciclar el agua, a menos que se pueda usar en el proceso o se lleve a tanques o lagunas de sedimentación. El reciclaje del agua puede introducir problemas de calidad de ella y requiere floculación y/o neutralización con sustancias químicas.

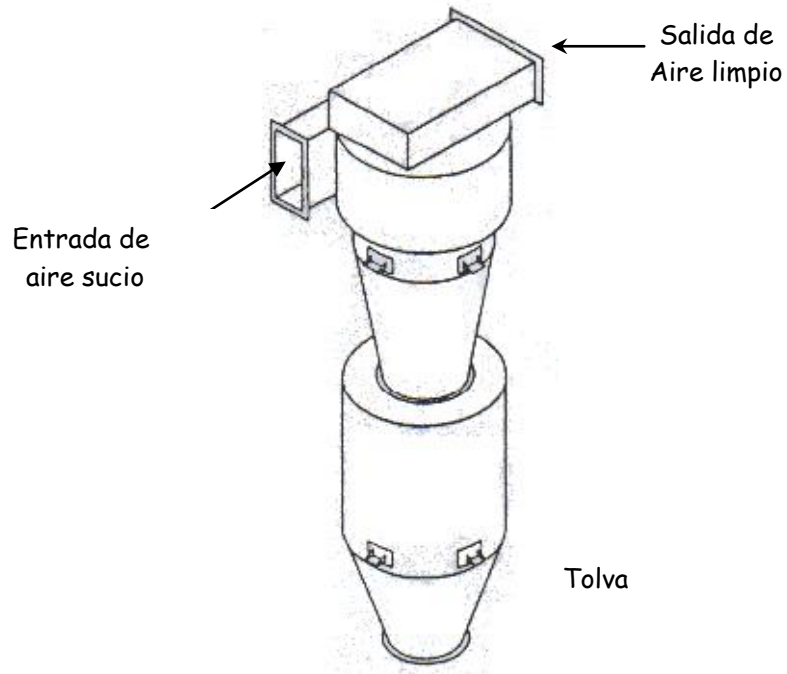
d) Separadores Centrífugos por vía seca:

En este sistema, el aire contaminado es forzado a fluir en manera circular por medio de un cilindro. La fuerza centrífuga causa que las partículas más pesadas sean lanzadas hacia la parte perimetral del cilindro, cayendo y separándose del flujo de aire. Las partículas más ligeras siguen el flujo de aire, por lo tanto, este método es adecuado únicamente para filtrar partículas grandes o pesadas. Generalmente se utilizan para remover partículas con un tamaño de 10 micrones o más, muy raramente remueven partículas con eficiencia superior al 90% a menos que estas tengan un tamaño de 25 micrones o más.

Ventajas de los Separadores Centrífugos:

- Bajo costo de construcción.
- Equipo relativamente simple con pocos problemas de mantenimiento.
- La caída de presión durante la operación es relativamente baja, en el orden de 50 a 152,4 mmca.
- Requerimientos de espacio relativamente pequeños.

- Recolección y eliminación de desechos en seco.



Separador centrífugo por vía seca

Figura 4.4

Desventajas de los Separadores Centrífugos:

- Baja eficiencia de recolección, especialmente en partículas menores de 254 mm.
- No pueden ser utilizados para coleccionar material pegajoso.
- No pueden ser utilizados para coleccionar vapores, nieblas o humos.

4.8.2 Matriz de Selección del Sistema de filtrado del aire contaminado:

En este punto del proceso de diseño, se considera para la evaluación de los distintos filtros la "Matriz de Selección o Matriz Morfológica", que define los factores más importantes a considerar para obtener el captador de polvo adecuado para la Cámara de Granallado, asignándoles un valor porcentual a cada factor según su importancia.

Los factores a considerar en la Matriz de Selección son los siguientes:

- 1. Costo energético:** es el costo de la energía que necesita el equipo para funcionar.
- 2. Costo del equipo:** es la inversión inicial necesaria para la adquisición del equipo, esta incluye transporte, montaje y accesorios.
- 3. Eficiencia:** mide el grado de retención de polvo que posee el equipo depurador, relacionando la cantidad de polvo que sale con la que entra.
- 4. Costo de mantenimiento:** gasto económico realizado al equipo durante su vida útil para que éste opere dentro de los parámetros de diseño.
- 5. Espacio ocupado y adaptabilidad:** el espacio ocupado se refiere al tamaño del equipo, la zona disponible para la instalación de éste es el exterior de la cámara. La adaptabilidad se refiere a la capacidad del equipo de

adaptarse a las limitaciones existentes realizando la menor cantidad de cambios.

6. Disponibilidad en el mercado: se refiere a la existencia del equipo en el mercado, ya que mientras más proveedores del equipo existan menor será su precio, además como consecuencia existirá mayor mano de obra especializada para la realización del mantenimiento.

7. Durabilidad: tiempo de vida útil del captador de polvo.

Para realizar la evaluación de cada solución propuesta se toma en cuenta la siguiente escala de puntuación:

Deficiente = 1

Aceptable = 2

Bueno = 3

Muy bueno = 4

Excelente = 5

Luego para obtener el valor final, se multiplica la puntuación anterior de cada solución por el asignado en porcentaje y se suman todos los resultados para así obtener el total a comparar entre los distintos filtros.

Características	Peso en %	Precipitador Electrostático	Colector de polvo	Depuradores Húmedos	Separadores Centrífugos por vía seca
Costo energético	10	1	4	2	3
Costo del equipo	30	1	3	2	2
Eficiencia	20	5	5	3	2
Costo de mantenimiento	10	2	4	2	4
Espacio ocupado y Adaptabilidad	10	1	5	2	4
Disponibilidad en el mercado	5	2	5	4	4
Durabilidad	15	5	3	5	5
Total	100	2.55	3.9	2.75	3.05

Matriz de Selección del Sistema de Filtrado

Tabla 4.2

La ponderación en porcentaje elegida para cada factor de la Matriz de Selección del sistema de filtrado, de acuerdo con su importancia es:

- 30% costo del equipo: debido a que la inversión inicial es el gasto más importante a la hora de adquirir un equipo.
- 20% eficiencia: de esta característica depende la efectividad del equipo en la limpieza del aire contaminado.

- 15% durabilidad: de este factor depende el cambio del equipo en un período determinado, es decir, el número de veces que debe realizarse la inversión inicial.
- 10% costo energético y costo de mantenimiento: son gastos económicos no tan importantes como la inversión inicial, pero de los cuales depende el desempeño del equipo durante su vida útil.
- 10% espacio ocupado y adaptabilidad: el emplazamiento del filtro se encuentra demarcado por la estructura de los talleres de patio, las cuales no pueden ser modificadas.
- 5% disponibilidad en el mercado: se debe tener en cuenta la cantidad de empresas que pueden ofertar el equipo, por lo tanto es un factor que se debe considerar.

Los resultados obtenidos en la Matriz de Selección, demuestran que el sistema de filtrado de aire contaminado adecuado para la cámara de granallado es el colector de polvo (filtros de tela).

El costo del equipo es inferior al de los otros captadores, ya que estos necesitan de equipos adicionales para operar (bombas de agua, instalaciones eléctricas, construcciones especiales) que tienen un consumo energético mayor al de los filtros de tela.

El colector de polvo seleccionado posee una eficiencia de colección >99%, aún para partículas menores de una micra.

El equipo de recolección de polvo seleccionado es de fácil acceso para su mantenimiento, este posee sistemas de conexión y

desconexión rápida lo que hace que no se requieran de herramientas especiales para su mantenimiento, lográndose con esto un abaratamiento de costos.

El colector de polvo está compuesto por tres secciones: el plenum de aire limpio, el cuerpo medio y la tolva inferior, soportados sobre una estructura de acero fácilmente adaptable en cualquier espacio.

En el mercado nacional e internacional se pueden conseguir modelos similares al seleccionado para la captación de polvo.

El colector de polvo por estar constituido por pocos equipos en comparación a los otros filtros estudiados, posee una larga vida útil si se le da el mantenimiento adecuado.

4.8.3 Características técnicas del equipo seleccionado:

El colector de polvo tipo JET PULSE seleccionado para la Cámara de Granallado presenta las siguientes características técnicas:

a) Método de filtrado:

El aire con las partículas a recolectar entra por el cuerpo del equipo si las partículas son pequeñas y livianas, para evitar que sean suspendidas en el flujo de aire ascendente. La entrada es por la tolva cuando las partículas son pesadas y la velocidad de ascenso del aire es inferior a la velocidad de sustentación de las partículas. En ambos casos se utilizan difusores que aseguran la

buena distribución del aire a filtrar. El aire con polvo pasa a través de la media filtrante y sale limpio (sin polvo) por el plenum de aire limpio.

b) Sistema de limpieza por Jet-Pulse:

La media filtrante está dispuesta en forma de bolsa o manga filtrante, las cuales son reacondicionadas mediante el flujo de aire limpio en el sentido opuesto de la operación de filtrado. Este sistema de reacondicionamiento de la manga permite que este tipo de recolección de polvo opere a altas velocidades de filtración y que sea más pequeño que equipos de limpieza mecánica o de flujo reverso.

c) Equipo:

El equipo de recolección de polvo Jet-Pulse esta compuesto por tres secciones: 1) el plenum de aire limpio que contiene la placa perforada y el sistema de limpieza, 2) el cuerpo medio que contiene los elementos filtrantes y 3) la tolva inferior que tiene acoplado el sistema de descarga (Figura 4.5).

d) Instrumentación:

El colector posee un manómetro que mide el diferencial de presión, entre el lado sucio y el lado limpio del aire dentro del colector, los timers y válvulas necesarias para lograr su optimo funcionamiento y facilidad de operación.

e) Válvula:

La válvula esta ubicada en la parte inferior de la tolva, y cumple con la función de descargar el material recolectado sin permitir la entrada o salida de aire por la tolva.

f) Estructura:

El equipo esta soportado sobre una estructura de perfiles de acero al carbono, (Figura 4.5). La parte inferior de la estructura tiene placas perforadas que permiten que el equipo sea fijado a la superficie de apoyo (Anexo 4.10 y 4.11).

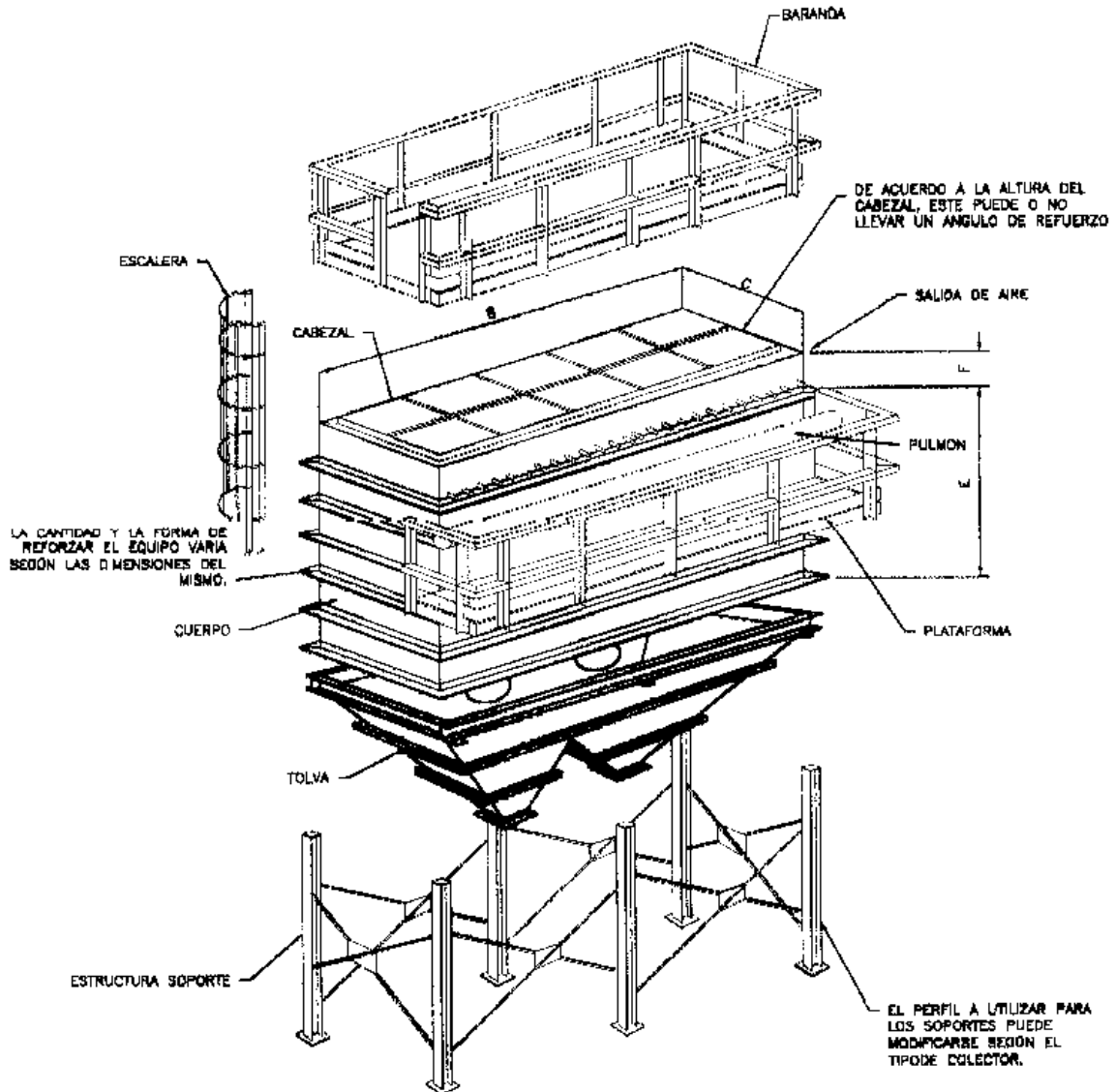
g) Facilidad de mantenimiento:

El acceso superior a las mangas filtrantes y el sistema de limpieza del equipo Jet-Pulse lo hace un equipo fácil de mantener. Las flautas están unidas a las válvulas mediante sistemas de conexión y desconexión rápida.

Características generales:

COLECTOR DE POLVO:	CARACTERÍSTICA:
Modelo:	Jet-Pulse
Mangas (diámetro*largo), Anexo 4.12:	5 ¼" diámetro * 10' largo
Cantidad de mangas:	180 (12 * 15)
Tela filtrante:	Filtro poliéster (Anexo 4.13)
Área filtrante:	2474 ft ²
Tolva:	Si
Cantidad de tolvas:	1
Cantidad de válvulas solenoides:	15
Preparación superficial:	Metal mecánico
Pintura base:	Epóxico
Pintura acabado:	Epóxico

PARTES TÍPICAS DE UN COLECTOR DE POLVO



Colector de polvo (seleccionado)

Figura 4.5

4.9 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN LAS DUCTERÍAS DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE AIRE Y EXTRACCIÓN DE AIRE CONTAMINADO DE LA CÁMARA DE GRANALLADO.

La metodología empleada para el cálculo de las pérdidas por fricción en las ducterías de suministro y extracción de aire, será el **Método de la Presión Dinámica** recomendado por la ACGIH. Este método se basa en el hecho de que todas las pérdidas de carga, por rozamiento en conductos y resistencia de forma por desprendimiento en accesorios, son función de la presión dinámica, y las pérdidas de carga pueden ser calculadas multiplicando la presión dinámica por un factor. Los factores de pérdidas para campanas, conductos rectos, codos, uniones, y otros accesorios están incluidos en los Anexos 4.14 al 4.18 del capítulo.

4.9.1 Condiciones del sistema de suministro de aire:

Cada ducto suministrará $1,585 \text{ m}^3/\text{s}$ de aire y estos serán distribuidos en $1,1327 \text{ m}^3/\text{s}$ (2400 PCM) por la rejilla de mayor volumen de aire y $0,472 \text{ m}^3/\text{s}$ (1000 PCM) por la rejilla de menor flujo de aire.

Del Esquema 4.1, se pueden ver distintos puntos denotados con letras, los cuales definen tramos de la ductería, y con esto tenemos un parámetro de asociación entre las pérdidas por fricción con tramos de ductería, esto con el fin de agilizar los cálculos.

4.9.2 Condiciones del sistema de extracción del aire contaminado:

El sistema de extracción de aire contaminado de la cámara de granallado tendrá seis (6) puntos de extracción, es decir, 6 ducterías que aspirarán $1.11 \text{ m}^3/\text{s}$, para un total de aspiración de $6.67 \text{ m}^3/\text{s}$.

La velocidad de transporte oscilará entre 20-23 m/s, en todos los ramales del sistema, con el fin de evitar:

- El taponamiento o encerramiento de uno o más brazos del sistema.
- La corrosión o la erosión de las palas del ventilador.
- El deterioro de los conductos.

Del Esquema 4.2 y 4.3, se pueden ver distintos puntos denotados con letras, los cuales definen tramos de la ductería, con sus respectivas uniones y codos necesarios. Un tramo de ductería se define como un conducto de diámetro uniforme que une dos puntos de interés, tales como campanas, puntos de unión, colector de polvo, entrada al ventilador, etc. Con esto obtenemos parámetros de asociación entre las pérdidas por fricción con tramos de ductería, esto con el fin de agilizar los cálculos.

4.9.3 Método de la Presión Dinámica:

Este método recomendado por la ACGIH, se basa en el hecho de que todas las pérdidas de carga, por rozamiento en conductos y

resistencia de forma por desprendimientos en accesorios, son función de la presión dinámica, y pueden ser calculadas multiplicando la presión dinámica por un factor.

Los factores para campanas, conductos rectos, codos, uniones, y otros accesorios se indican en las tablas anexas del capítulo.

La secuencia que se indica a continuación permite el cálculo de la pérdida de carga total de un tramo de conducto que empieza en una campana:

1. Calcular la velocidad real dividiendo el caudal por la sección del conducto disponible comercialmente. Calcular la presión dinámica correspondiente, por la siguiente fórmula:

$$PD = \left(\frac{V}{4,043} \right)^2$$

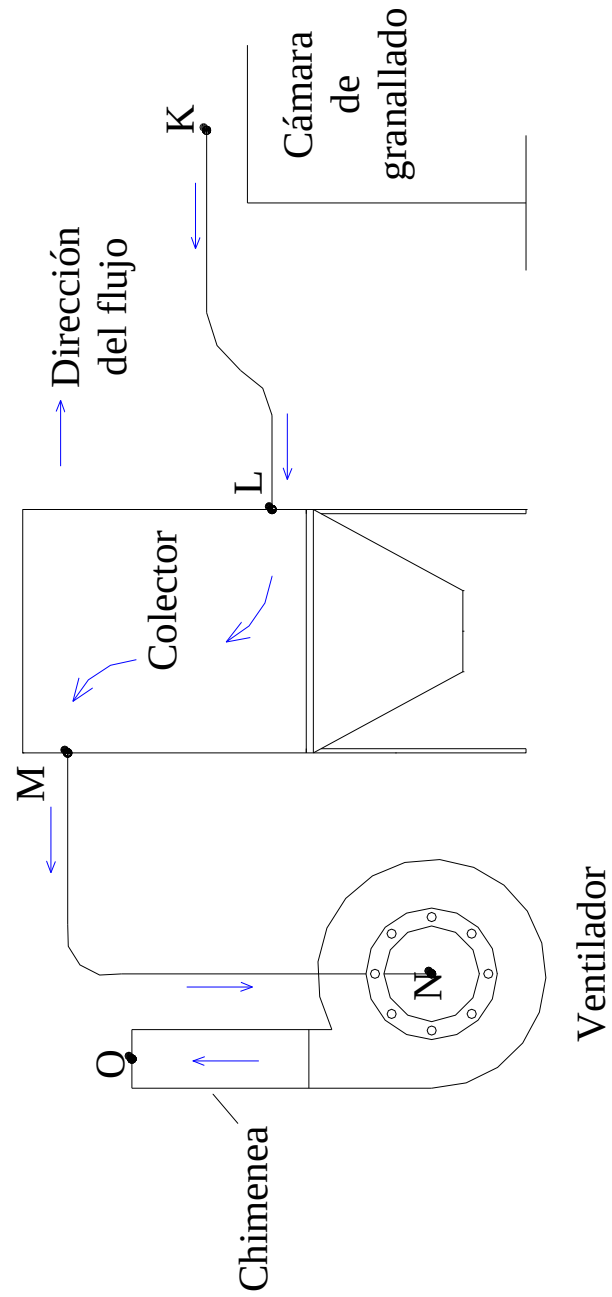
Donde:

PD = presión dinámica en milímetros de columna de agua, mmcda.

V = velocidad en m/s.

2. Calcular la succión en la campana, por la siguiente fórmula:

$$PEc = PDc + hec$$



Ruta de ductos y equipos

Esquema 4.3

Donde:

PEc = presión estática de la campana en mmcda.

hec = pérdida de carga en la entrada al conducto en mmcda.

$hec = fc \cdot PDc$

PDc = presión dinámica en el conducto en mmcda.

fc = factor de carga

Esta ecuación se emplea cuando la velocidad en la boca es inferior a 5 m/s. Cuando es superior, la campana debe tratarse como una campana compuesta.

Las campanas compuestas son las que tienen dos o más puntos significativos de pérdida de energía y que, por tanto, deben ser considerados separadamente y luego sumados para calcular la pérdida de carga total en la campana.

$$PEc = her + hec + PDc$$

Donde:

her = pérdida de carga en la rendija en mmcda.

$her = fc \cdot PDr$

PDr = presión dinámica en la rendija en mmcda.

3. Multiplicar la longitud de diseño del conducto por el factor de pérdida:

$$Hf = 0,0155 * \frac{V^{0.533}}{Q^{0.612}} = \frac{27,8}{Q^{0.079} * D^{1.066}}$$

$$HF = Hf * L$$

Donde:

Hf = factor de pérdidas en PD/m.

V = velocidad de transporte del aire dentro del ducto en m/s.

Q = caudal volumétrico del aire en m^3/s .

D = diámetro de la ductería en mm.

L = longitud del tramo en m.

4. Determinar el número y tipo de accesorios en el tramo. Para cada tipo de accesorio hay que determinar el factor de pérdidas (Anexos 4.14 al 4.18), y multiplicarlo por el número de accesorios.
5. Sumar los resultados de las pasos 3 y 4, y multiplicarlo por la presión dinámica en el conducto. El resultado es la pérdida de carga del tramo en mmca.
6. Sumar el resultado del paso 5 a la succión de la campana (PEc). También se debe sumar cualquier otra pérdida de carga que pueda darse en el tramo. El resultado es el requerimiento total de energía, expresada en términos de presión estática, necesario para hacer circular el caudal de diseño a través del tramo.

4.9.4 Hoja de cálculo asociada al Método de la Presión Dinámica:

El uso de una hoja de cálculo es muy conveniente cuando se realizan los cálculos manualmente. Las Tabla 4.3 y 4.4 muestran la hoja de cálculo para el Método de la Presión Dinámica con los datos de las ducterías del suministro y extracción de aire

contaminado de la cámara de granallado. El programa utilizado para realizar la hoja de cálculo se encuentra en los anexos del capítulo.

En la primera columna (lado izquierdo) de la hoja de cálculo se indican los parámetros a evaluar con sus respectivas pérdidas y en la primera fila se encuentran indicados en letras los tramos de la ducterías a evaluar. A continuación son mostradas las tablas de los cálculos de las pérdidas por fricción en la red de ducterías diseñada para el sistema de ventilación.

4.9.5 Correcciones de flujos y diámetros:

Las ecuaciones de correcciones de flujos y diámetros son utilizadas en aquellos puntos donde se unen los ramales. Se comparan las presiones estáticas de los ramales, a la mayor de ellas se llamará P_c (Presión controlante) y a la menor se le llamará P_a (Presión acumulada). Esta comparación se efectuará por medio de la siguiente fórmula:

$$\%DP = (1 - P_a/P_c) \times 100$$

Donde:

%DP = diferencia de presiones estáticas en la unión, en porcentaje.

1	Identificación del tramo de conducto			A-B	B-C	B-D	D-E
2	Caudal (m ³ /s)			1,585	0,472	1,133	1,133
3	Velocidad mínima de transporte (m/s)			5,000		5,000	
4	Diámetro del conducto (mm)			576,580		500,300	
5	Sección del conducto (m ²)			0,276		0,212	
6	Velocidad real en conducto (m/s)			5,743		5,353	
7	Presión dinámica (mmcda)			2,018		1,753	
8	S U C C I Ó N C A M P A	R	Área de la rendija (m ²)	0,276	0,168		0,325
9		E	Velocidad en rendija (m/s)	5,743	2,814		3,484
10		N	Presión dinámica en rendija (mmcda)	2,018	0,484		0,742
11		D	Fac. Pérdidas rendija	0,010	0,088		0,120
12		I	Factor de aceleración 0 o 1	0,000	1,000		1,000
13		J	Pérdidas en pleno (en PD) items 11+12	0,010	1,088		1,120
14		A	PE en el pleno items 10*13 (mmcda)	0,020	0,527		0,831
15	C A M P A		Fac. Pérdidas entrada	0,930			
16			Factor de aceleración 0 o 1	1,000			
17			Pérdida en entrada (PD) items 15+16	1,930			
18			Pérdida en la entrada items 7*17	3,894			
19			Otras Pérdidas (mmcda)				
20	Succ. en campanas; items 14+18+19 (mmcda)			3,914	0,527		0,831
21	Longitud de conducto recto (m)			1,300		1,300	
22	Factor de Pérdidas (Hf)			0,030		0,037	
23	Pérdidas en PD; items 21*22			0,039		0,047	
24	N° de codos de 90°						
25	Pérdidas en codos en PD; item 24*factor						
26	N° de uniones						
27	Pérdida en uniones en PD; item 26*factor						
28	Fact. De Pérdida de accesorio especiales					0,099	
29	Pérdidas en tramo en PD; items 23+25+27+28			0,039		0,146	
30	Pérdidas en el tramo; item 7*29 (mmcda)			0,080		0,256	
31	Pérdida de PE en tramo; item 20+30 (mmcda)			3,994	0,527	0,256	0,831
32	PE acumulada (mmcda)						
33	PE controlante (mmcda)						
34	Caudal corregido (m ³ /s)						
35	Presión dinámica resultante (mmcda)						

Sistema de suministro
Tabla 4.3

1	Identificación del tramo de conducto		F-I	G-I	H-J	I-J
2	Caudal (m ³ /s)		1,110	1,110	1,110	2,324
3	Velocidad mínima de transporte (m/s)		20,000	20,000	20,000	20,000
4	Diámetro del conducto (mm)		250,000	250,000	250,000	360,000
5	Sección del conducto (m ²)		0,049	0,049	0,049	0,102
6	Velocidad real en conducto (m/s)		22,613	22,613	22,613	22,830
7	Presión dinámica (mmcda)		31,282	31,282	31,282	31,887
8	S U C C I O N C A M P A	R	Área de la rendija (m ²)	0,049	0,049	0,049
9		E	Velocidad en rendija (m/s)	22,613	22,613	22,613
10		N	Presión dinámica en rendija (mmcda)	31,282	31,282	31,282
11		D	Fac. Pérdidas rendija	0,010	0,010	0,010
12		I	Factor de aceleración 0 o 1	0,000	0,000	0,000
13		J	Perd. en pleno (en PD) ítems 11+12	0,010	0,010	0,010
14		A	PE en el pleno ítems 10*13 (mmcda)	0,313	0,313	0,313
15			Fac. Pérdidas entrada	0,490	0,490	0,490
16			Factor de aceleración 0 o 1	1,000	1,000	1,000
17			Pérdida en entrada (PD) ítems 15+16	1,490	1,490	1,490
18			Pérdida en la entrada ítems 7*17	46,611	46,611	46,611
19			Otras pérdidas (mmcda)			
20	Succ. en campanas; ítems 14+18+19 (mmcda)		46,923	46,923	46,923	
21	Longitud de conducto recto (m)		1,790	0,770	2,690	0,580
22	Factor de pérdidas (Hf)		0,077	0,077	0,077	0,049
23	Pérdidas en PD; ítems 21*22		0,137	0,059	0,206	0,028
24	N° de codos de 90°		1,000	1,000	1,000	
25	Pérdidas en codos en PD; ítem 24*factor		0,270	0,270	0,270	
26	N° de uniones		1,000		1,000	
27	Pérdida en uniones en PD; ítem 26*factor		0,280		0,180	
28	Fact. De pérdida de accesorio especiales					
29	Pérdidas en tramo en PD; ítems 23+25+27+28		0,687	0,329	0,656	0,028
30	Pérdidas en el tramo; ítem 7*29 (mmcda)		21,495	10,291	20,523	0,906
31	Pérdida de PE en tramo; ítem 20+30 (mmcda)		68,418	57,215	67,447	0,906
32	PE acumulada (mmcda)		-68,418	-57,215	-67,447	-69,324
33	PE controlante (mmcda)			-68,418	-69,324	
34	Caudal corregido (m ³ /s)			1,214		
35	Presión dinámica resultante (mmcda)					31,689

Sistema de extracción del aire contaminado
Tabla 4.4

1	Identificación del tramo de conducto		J-K	K-L	Colector	M-N	N-O
2	Caudal (m ³ /s)		3,434	6,868	6,868	6,868	6,868
3	Velocidad mínima de transporte (m/s)		20	20		5,000	
4	Diámetro del conducto (mm)		440	620		780	780
5	Sección del conducto (m ²)		0,152	0,302		0,480	0,478
6	Velocidad real en conducto (m/s)		22,583	22,748		14,308	14,372
7	Presión dinámica (mmcda)		31,689	31,656		12,523	12,637
8	S R U E C N C D I I O J N A	Area de la rendija (m ²)					
9		Velocidad en rendija (m/s)					
10		Presión din. en rendija (mmcda)					
11		Fac. Pérdidas rendija					
12		Factor de aceleración 0 o 1					
13		Perd. en pleno (en PD) ítems 11+12					
14		PE en el pleno ítems 10*13 (mmcda)					
15	C A M P	Fac. Pérdidas entrada				0,930	
16		Factor de aceleración 0 o 1				1,000	
17		Perd. en entrada (PD) ítems 15+16				1,930	
18		Pérdida en la entrada ítems 7*17				24,170	
19		Otras pérdidas (mmcda)			203,200		
20		Succ. En campanas; ítems 14+18+19 (mmcda)			203,200	24,170	
21	Longitud de conducto recto (m)			4,650		4,500	3,000
22	Factor de pérdidas (Hf)			0,025		0,020	0,020
23	Pérdidas en PD; ítems 21*22			0,117		0,090	0,059
24	N° de codos de 90°		2,000	2,000		2,000	
25	Perd. en codos en PD; ítem 24*factor		0,540	2,160		0,410	
26	N° de uniones		1,000				
27	Perd. en uniones en PD; ítem 26*factor		0,440				
28	Fact. De pérdida de accesorio especiales						
29	Pérdidas en tramo en PD; ítems 23+25+27+28		0,980	2,277		0,500	0,059
30	Perd. en el tramo; ítem 7*29 (mmcda)		31,056	72,086		6,262	0,748
31	Perd. de PE en tramo; ítem 20+30 (mmcda)		31,056	72,086	203,200	30,432	0,748
32	PE acumulada (mmcda)		-100,380	-172,466	-375,666	-406,098	0,748
33	PE controlante (mmcda)						
34	Caudal corregido (m ³ /s)						
35	Presión dinámica resultante (mmcda)						

Sistema de extracción del aire contaminado
Tabla 4.5

En función de lo anterior se obtiene las siguientes condiciones de cálculo:

- Si el %DP encontrado oscila entre el 6% y el 20%, se debe corregir el flujo de las tuberías que tengan presión estática menor con la siguiente fórmula:

$$Q_{\text{corregido}} = Q_{\text{diseño}} \times \sqrt{\frac{P_c}{P_a}}$$

- Si el %DP encontrado oscila entre 20% y el 40%, se debe corregir el diámetro de la tubería que tenga la presión estática menor, con la fórmula:

$$D_{\text{corregido}} = D_{\text{diseño}} \times \sqrt{\frac{P_c}{P_a}}$$

- Si el %DP es mayor del 40%, reubicar el proceso completo.

4.9.6 Factor de corrección por variación de la densidad y temperatura del aire:

Para la aplicación de este factor, es necesario conocer la temperatura del proceso y la altitud del lugar donde va a ser instalado el sistema de ventilación. Las tablas características de los ventiladores y los requisitos de caudal en los sistemas de extracción localizada siempre se refieren a aire en condiciones standard. En estas condiciones el aire tiene una densidad de 1,2 Kg/m³. Cuando existen cambios importantes en las condiciones atmosféricas la densidad del aire puede tener valores muy diferentes.

El factor de corrección para diferentes temperaturas y elevaciones sobre el nivel del mar está indicado en la Tabla 4.5. Con la altitud y la temperatura del proceso se encuentra el factor de corrección, después se multiplica dicho factor tanto al caudal del sistema como a la pérdida total por fricción en lo que corresponde al sistema de extracción, P_{tsec} . Cabe destacar que para temperaturas comprendidas entre 0° y 50°C y/o altitudes entre -250 y $+250$ metros, se deben ignorar las correcciones por variación de densidad. En caso de no encontrarse el valor deseado, se debe interpolar.

Kg/m³ = Factor de densidad × 1,2 Densidad del aire seco a 21 °C al nivel del mar = 1,2 Kg/m³ Altitud sobre el nivel del mar en metros												
	-250	0	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2500	3000
Temp. E Hg	782	760	738	717	697	677	657	639	620	603	569	536
C. E H₂O	10649	10345	10048	9761	9482	9211	8947	8691	8443	8201	7739	7303
0	1,11	1,08	1,05	1,02	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,86	0,81	0,76
21	1,03	1,00	0,97	0,95	0,92	0,89	0,87	0,84	0,82	0,79	0,75	0,71
50	0,94	0,91	0,89	0,86	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75	0,72	0,68	0,64
75	0,87	0,85	0,82	0,80	0,78	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,63	0,60
100	0,81	0,79	0,77	0,75	0,72	0,70	0,68	0,66	0,65	0,63	0,59	0,56
125	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,55	0,52
150	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,52	0,49
175	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,54	0,52	0,49	0,46
200	0,64	0,62	0,61	0,59	0,57	0,56	0,54	0,52	0,51	0,49	0,47	0,44
225	0,61	0,59	0,58	0,56	0,54	0,53	0,51	0,50	0,48	0,47	0,44	0,42
250	0,58	0,56	0,55	0,53	0,52	0,50	0,49	0,47	0,46	0,45	0,42	0,40
275	0,55	0,54	0,52	0,51	0,49	0,48	0,47	0,45	0,44	0,43	0,40	0,39
300	0,53	0,51	0,50	0,49	0,47	0,46	0,45	0,43	0,42	0,41	0,38	0,36
325	0,51	0,49	0,48	0,47	0,45	0,44	0,43	0,41	0,40	0,39	0,37	0,35
350	0,49	0,47	0,46	0,45	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,35	0,33
375	0,47	0,46	0,44	0,43	0,42	0,41	0,39	0,38	0,37	0,36	0,34	0,32
400	0,45	0,44	0,43	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,33	0,31
425	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,35	0,34	0,33	0,32	0,30
450	0,42	0,41	0,40	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,29
475	0,41	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,29	0,28
500	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	0,28	0,27
525	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	0,29	0,27	0,26

Las pérdidas de carga son proporcionales a la densidad (en primera aproximación)
Consultar las leyes de los ventiladores, o las referencias, para más detalles

Factor de corrección por densidad

Tabla 4.6

Para el caso de la cámara de granallado, el valor de la temperatura del ambiente es de 25 °C y la altitud es de 750 metros, se obtiene de la tabla el factor de corrección de 0,91, valor que no es necesario emplear en las correcciones, debido a que la temperatura se encuentra en el rango de 0° y 50°C.

4.9.7 Factor de seguridad (Fs) o de sustentación del material:

Una vez calculada la caída de presión y sus correcciones tenemos como resultado un caudal corregido (Qc) y unas pérdidas corregidas (Ptsec), a esta última se le suma un factor de seguridad que depende del material que se está desalojando, según algunos autores y casas comerciales.

Este factor de seguridad se basa en una succión necesaria para generar el levantamiento o sustentación del material a lo largo de la red de ducterías. Este factor de seguridad se obtiene del Anexo 4.19. Para el caso del polvo metálico generado en la cámara de granallado, no aparece dicho factor en la tabla, por lo tanto se buscó el material con el peso específico similar al del polvo metálico, el cual contiene en mayor cantidad hierro ($\gamma_{Fe} = 0,284 \text{ lb/pie}^3$). El valor del factor es de una pulgada de agua.

Como resultado de los cálculos efectuados (Tabla 4.5), se obtiene que la pérdida total por fricción en lo que corresponde al sistema de extracción corregida (Ptsec) de polvo es de:

$$Ptsec = 406,098 \text{ mmcda} = 15,988 \text{ pulgadas de agua.}$$

El cálculo de las pérdidas totales del sistema (PTS) viene dado por la siguiente formula:

$$\begin{aligned} \text{PTS} &= \text{Ptse} + \text{Hpt} + \text{Fs} \\ \text{PTS} &= 15,988 + 0,2208 + 1 \\ \text{PTS} &= 17,2088 \text{ pulgadas de agua.} \end{aligned}$$

Donde:

Hpt = pérdida total del sistema de suministro, Tabla 4.3.

Hpt = 5,608 mmcd = 0,2208 pulgadas de agua.

Fs = factor de seguridad por sustentación, 1 pulgadas de agua.

4.10 CÁLCULO DE LA PRESIÓN ESTÁTICA DEL VENTILADOR.

El cálculo de la presión estática del ventilador se realiza por medio de la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \text{PEV} &= \text{PESV} + \text{PEEV} - \text{PVEV} \\ \text{PEV} &= 16,745 \text{ pulgadas de agua.} \\ \text{PTV} &= (\text{PESV} + \text{PVS}) - (\text{PEEV} + \text{PVEV}) \\ \text{PTV} &= -17,176 \text{ pulgadas de agua.} \end{aligned}$$

Donde:

PEV: Presión estática del ventilador.

PTV: Presión total del ventilador

PESV: Presión estática a la salida del ventilador, es 0,748 mmcd, 0,029 pulgadas de agua.

PEEV: Presión estática a la entrada del ventilador (PEEV = PTS), es 437,408 mmcd 17,2088 pulgadas de agua.

PVEV: Presión de velocidad a la entrada del ventilador, es 12,523 mmca = 0,493 pulgadas de agua.

PVSV: Presión de velocidad a la salida del ventilador, es 12,637 mmca = 0,497 pulgadas de agua.

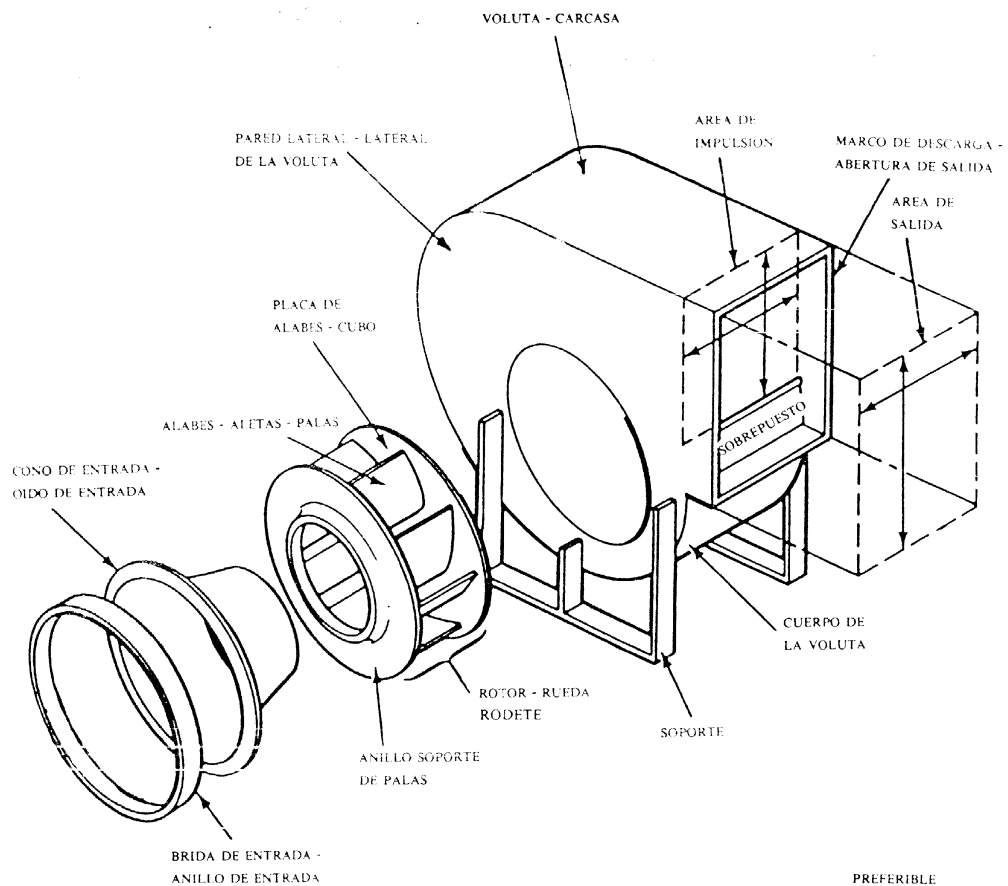
4.11 SELECCIÓN DEL VENTILADOR.

La selección del ventilador en un sistema de aspiración y recolección de polvo, es de primordial importancia para lograr una adecuada eficiencia en la operación del sistema.

Un ventilador es un equipo que se utiliza para mover el aire de un punto a otro. En un sistema de aspiración y recolección de polvo, los ventiladores imparten un movimiento a la masa de aire, trasladando el aire contaminado desde la fuente hasta el colector, donde tiene lugar la depuración; luego el aire purificado es descargado a la atmósfera.

Los ventiladores se clasifican según la forma de mover el aire en: ventiladores axiales, donde el aire se mueve paralelo al eje de rotación del impulsor, ventiladores centrífugos, donde el aire entra perpendicularmente al eje de giro del rotor. En la ventilación industrial para el manejo de aire contaminado son empleados comúnmente los ventiladores centrífugos.

Un ventilador centrífugo consiste en una rueda rotor montada sobre un eje motorizado, que gira dentro de una carcasa en forma de caracol (Figura 4.6). El rendimiento mecánico de este tipo de ventilador no es muy elevado y oscila entre 45% y 75% debido a que el cambio de dirección de aire provoca pérdidas por choques y remolinos, no obstante manejan altísimos volúmenes de aire contra altas presiones.



Terminología usual de los ventiladores centrífugos

Figura 4.6

Por las características del sistema presentado, el ventilador a ser instalado debe ser centrífugo de palas curvadas hacia atrás. La característica fundamental de este tipo de ventilador, es que las aletas están inclinadas hacia atrás en sentido contrario al de rotación del rotor. La principal ventaja es que la potencia requerida es autolimpiante, es decir que el consumo aumenta hasta un máximo cuando aumenta la capacidad, pero para mayores capacidades el consumo de energía decrece. Este tipo de ventilador trabaja a velocidades intermedias y su nivel de ruido es menor a la máxima eficiencia.

4.11.1 Estimación de la potencia del ventilador:

Existen 2 tipos de potencia en referencia a los ventiladores: la potencia al aire (AHP) y la potencia al freno (BHP). La primera esta referida a la cantidad mínima de potencia necesaria para mover un volumen de aire contra la presión total del ventilador. Esta potencia ocurriese si el ventilador fuera 100% eficiente, es decir, que no tuviera pérdidas (en el eje, en los cojinetes, etc.). Pero la realidad es otra, un ventilador a un caudal especificado contra PTV, desperdicia cerca del 25 al 50% de la potencia que se le entrega.

$$AHP = \frac{PTV \times Q}{6356}$$

Donde:

AHP: potencia al aire (HP)

PTV: presión total del ventilador

Q: caudal (PCM)

La potencia al freno es la potencia real requerida por el ventilador para mover el caudal especificado contra la presión total del ventilador dada. La potencia al freno toma en cuenta las pérdidas antes mencionadas.

$$BHP = \frac{AHP}{n} = \frac{PTV \times Q}{6356 \times n} = \frac{17,176 \times 14552,5}{6356 \times 0.77} = 51,07Hp$$

El factor de eficiencia (n), lo determina el fabricante (0.77), al igual que los BHP. Si n o BHP no pueden ser determinados, un valor de $n = 0.6$, puede ser una buena aproximación. Otra forma de estimar los BHP de un ventilador ya existente es asumiendo PTV por PEV.

$$BHP = \frac{PEV \times Q}{6356 \times n} = \frac{16,757 \times 14552,5}{6356 \times 0.77} = 49,83Hp$$

Después de instalado un ventilador y determinado su consumo de potencia, se puede determinar el rendimiento mecánico total (RMT) y el rendimiento estático (RE):

$$RMT = \frac{PTV \times Q}{6356 \times BHP} = \frac{17,176 \times 14552,5}{6356 \times 49,83} = 0.79$$
$$RE = \frac{PEV \times Q}{6356 \times BHP} = \frac{16,757 \times 14552,5}{6356 \times 49,83} = 0.77$$

4.11.2 Arreglos y disposiciones del ventilador:

La potencia que necesitan los ventiladores es dada por motores eléctricos y estos pueden estar acoplados directamente al ventilador (por medio de engranajes) o unidos entre sí por medio de poleas y correas de transmisión de fuerza. La AMCA (Air Movement and Control Association) ha normalizado los distintos tipos de arreglos, para los diferentes tipos de ventiladores según:

- La localización del cojinete en relación al rotor.
- El tipo de conexión.
- La forma de soportar al motor.

Los distintos tipos de arreglos con sus explicaciones se pueden visualizar en la Figura 4.7.

4.11.3 Selección del motor:

La potencia del motor la podemos definir como BHP más una potencia adicional que tome en cuenta las pérdidas por deslizamientos, transmisión y uso de poleas, etc. Para determinar la potencia del motor se usa la fórmula:

$$MHP = BHP \times FS$$

$$MHP = 49,83 \times 1.2 = 59,8Hp$$

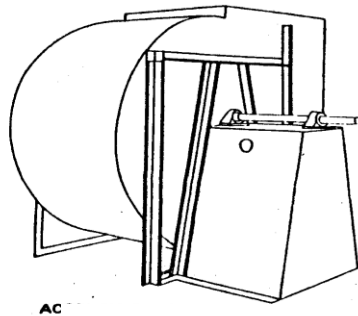
Donde:

MHP: potencia del motor

FS: factor de servicio (Anexo 4.20)

ACOPAMIENTO 1

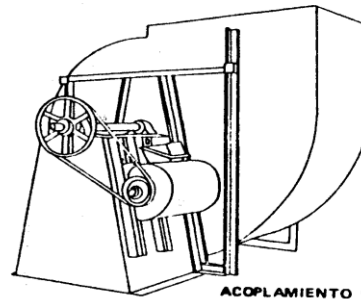
Consiste en dos cojinetes montados sobre una base con el rotor y la polea adheridos a un eje, movido por una correa. Los cojinetes se encuentran ubicados externamente —con relación a la corriente de aire—. Este arreglo debe seleccionarse para sistemas cerrados, que manejen aire contaminado o para situaciones donde la presencia de humedad o calor pueda ir en detrimento de los cojinetes.



AC

ACOPAMIENTO 9

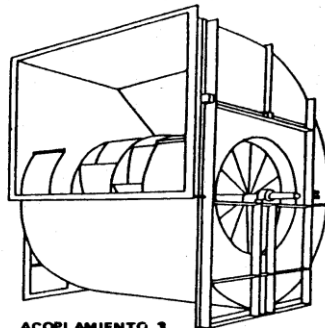
Esencialmente igual al arreglo 1, pero el motor se encuentra montado sobre la base del ventilador con conexión para una transmisión de banda en V. Se recomienda su construcción en forma monolítica, lo que simplifica su instalación.



ACOPAMIENTO 9

ACOPAMIENTO 3

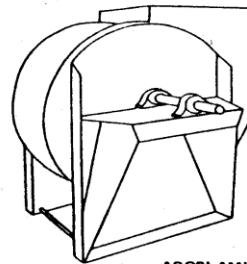
Los rotores están montados entre los cojinetes, sostenidos sobre cada lado de la voluta del ventilador para mayor estabilidad y resistencia. Las principales ventajas de este arreglo es que es compacto y de bajo costo inicial. Se recomienda para mover aire limpio y seco como en sistemas de calefacción y de aire acondicionado, tanto cuando se monte uno o dos rotores.



ACOPAMIENTO 3

ACOPAMIENTO 2

Posee la misma aplicación y ventajas del arreglo 1, la única diferencia es que el centro de los cojinetes es más corto, proporcionando economía de espacio. Este arreglo se usa para montajes cercanos a la pared o donde el espacio de la planta sea reducida.

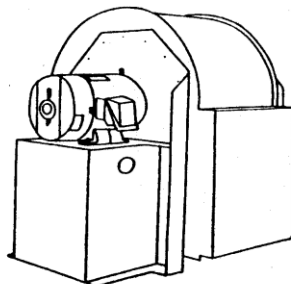


ACOPAMIENTO 2

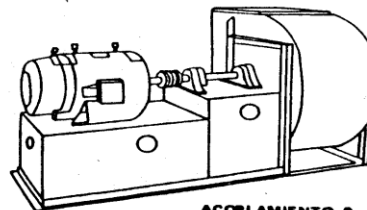
ACOPAMIENTOS CON TRANSMISIÓN DIRECTA (ARREGLOS 4 y 8)

Cuando se requiere alto flujo y presión estática en un sistema, la transmisión por correas no es la adecuada, por lo que se necesita el montaje de un sistema de transmisión directa. Los ventiladores de transmisión directa son compactos, eficientes y económicos, evitando los problemas de tensión, mantenimiento y reemplazo de las correas.

Los arreglos 4 y 8 son los más comunes para los montajes en transmisión directa. Los arreglos 1 y 3 pueden ser usados para este tipo de montajes, instalando un pedestal independiente para el motor de altura apropiada para permitir la conexión de la transmisión a través de un acoplamiento flexible.



ACOPAMIENTO 4



ACOPAMIENTO 8

Acoplamientos del ventilador al motor
Figura 4.8

Con las características de flujo de 14552,5 PCM calculadas al inicio del capítulo y la presión estática del ventilador (PEV = 16,757 pulgadas de agua) se selecciona de los catálogos el ventilador serie 110 tipo B (Anexo 4.21) de METAL BLOWER (o similar) con las características muy cercanas a las calculadas:

- $Q = 14600$ PCM.
- $PE = 18$ pulgadas de agua.
- Arreglo 1, clase IV.
- $RPM = 2596$.
- $BHP = 53$.
- Velocidad de salida = 4147 ppm
- Eficiencia = 77%
- Nivel de ruido = 93 dba a 3 m.

Y este es un punto de alta eficiencia del ventilador.

5. DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN.

5.1 GENERALIDADES.

El presente capítulo tiene el propósito de determinar la cantidad adecuada y la buena calidad de luz, que deben observarse en la cámara de granallado, empleando el método de los lúmenes propuesto por la Westinghouse Inc. en su manual de iluminación, para hallar la cantidad de lámparas y luminarias necesarias.

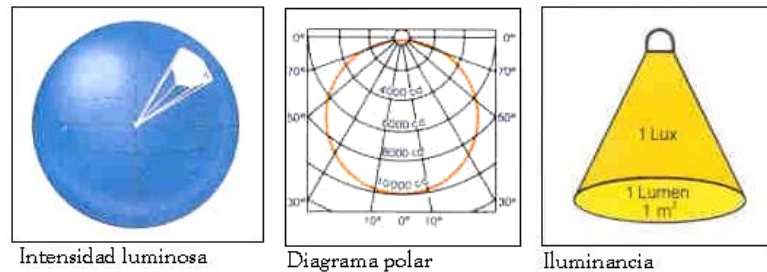
5.2 TERMINOLOGÍA DE LA ILUMINACIÓN.

Como es habitual en todas las disciplinas técnicas y científicas, la tecnología de la iluminación también tiene una terminología propia.

Términos especiales, conceptos específicos y unidades de medida se utilizan para definir las características de las lámparas y luminarias.

Parámetros fotométricos:

Los parámetros fotométricos fundamentales son cuatro: flujo luminoso, intensidad luminosa, iluminancia y luminancia.



Parámetros fotométricos
Figura 5.1

- Flujo luminoso:

Es toda la radiación emitida por una fuente de luz en todas las direcciones y percibida por el ojo humano. La unidad de medida es el lumen (lm).

- Intensidad luminosa:

Es la intensidad del flujo luminoso de una fuente de luz con reflector o de una luminaria, proyectada en una dirección determinada (Figura 5.1). Su unidad es la candela (cd).

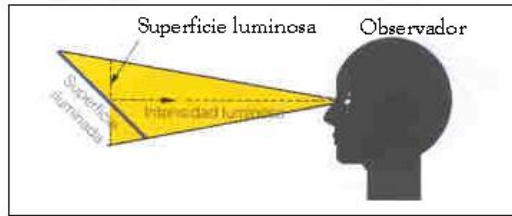
- Iluminancia:

La intensidad de iluminación indica cuanto flujo luminoso recibe una superficie concreta. Se determina por la relación entre la intensidad luminosa y la distancia al cuadrado de la superficie. La unidad de medida es el lux (lux) que es igual a 1 lumen por metro cuadrado (Figura 5.1).

- Luminancia:

La luminancia de una fuente de luz o de una superficie es la sensación de claridad que la misma produce en los ojos y que es transmitida hasta el cerebro. Si observamos desde cualquier parte

una superficie iluminada, la intensidad luminosa producida o reflejada por esta superficie dividida por el área visible para los ojos se denomina luminancia (Figura 5.2). La unidad de medida es la candela por metro cuadrado (cd/m^2).



Luminancia

Eficacia luminosa (lm/W)	flujo luminoso (lm) producido potencia eléctrica (W) consumida
Intensidad luminosa (cd)	flujo luminoso en el ángulo sólido ángulo sólido ω (sr)
Iluminancia (lx)	flujo luminoso incidente (lm) superficie iluminada (m^2)
Iluminancia (lx)	Intensidad luminosa (cd) [distancia en metros (m)] ²
Luminancia (cd/cm^2)	Intensidad luminosa (cd) superficie visible iluminada (cm^2)

Luminancia

Figura 5.2

5.3 METODOLOGÍA EMPLEADA EN EL DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE LA CÁMARA DE GRANALLADO.

Al diseñar el sistema de iluminación apropiado para la cámara de granallado, se tomaron en cuenta los siguientes pasos:

1. Análisis de la tarea visual.
2. Determinación de la cantidad de luz necesaria.
3. Determinación del tipo de iluminación.
4. Selección del equipo apropiado.

1. Análisis de la tarea visual:

El tamaño, el brillo, el contraste y el tiempo son características fundamentales que determinan la visibilidad relativa de un objeto. A parte de éstas, en la tarea visual influyen otra serie de factores, como son el acabado del objeto, la naturaleza de la materia con respecto a la transmisión de la luz, el grado del efecto tridimensional y los efectos de reflexión.

2. Determinación de la cantidad de luz apropiada:

El Consejo Interamericano de Seguridad, recomienda como valor mínimo para una cámara de granallado 500 lux, Westinghouse Inc (Manual de Iluminación) sugiere una iluminación entre 1000-1500 lux y la norma **COVENIN** "Iluminancias en tareas y áreas de trabajo" para este tipo de ambiente sugiere entre 1000-2000 lux.

3. Determinación del tipo de iluminación:

El tipo de iluminación adecuado para la cámara de granallado es el alumbrado general. En el alumbrado general las luminarias se disponen de tal manera que proporcionen un nivel razonablemente uniforme de iluminación en un área interior. La distribución más uniforme se obtiene mediante la colocación simétrica de las luminarias necesarias para producir la luz deseada.

4. Selección del equipo apropiado:

En la práctica la selección del equipo y la fuente de luz depende de los siguientes factores:

a) Calidad del alumbrado:

La buena calidad de luz es tan importante como la cantidad, y normalmente más difícil de conseguir. Los factores que intervienen en la calidad de iluminación son:

El deslumbramiento: El deslumbramiento es cualquier brillo que produce molestia, interferencia con la visión o fatiga visual. Los elementos del deslumbramiento más importantes son: brillo de la fuente, tamaño de la fuente, posición de la fuente, contraste de brillo y tiempo de exposición.

Las relaciones de brillo: excesivas relaciones de brillo en el campo de la visión o contrastes de brillo entre superficies adyacentes, incluso cuando no son lo suficiente fuertes para que constituyan "deslumbramientos", pueden ser muy perjudiciales para la calidad del alumbrado.

Difusión: La iluminación que resulta de la luz procedente de varias direcciones, en contraposición a la luz que procede de una sola dirección, se llama difusa.

Color: El color de la luz no influye en la eficacia de la visión. Para la realización de tareas visuales normales, ninguna fuente de luz aventaja a otra, desde el punto de vista del color.

b) Forma del local:

Al proyectarse instalaciones de alumbrado, es preciso considerar la forma del local para seleccionar una luminaria que tenga la distribución adecuada, para el caso de la cámara de

granallado el sistema de alumbrado o método de iluminación escogido es el alumbrado general localizado, ya que es cónsono con el trabajo a realizar y la forma prisma del local.

c) Costos de mantenimiento:

En lugares cuyo alumbrado va a ser utilizado casi continuamente, los costos iniciales son de menor importancia comparado con el de mantenimiento. Así las fuentes de alta eficiencia (fluorescentes) con larga vida y alta emisión luminosa resultan muy indicadas para reducir consumos y la conservación.

5.4 SELECCIÓN DE LAS LÁMPARAS Y LUMINARIAS.

5.4.1 Lámparas:

En base a la calidad del alumbrado, la forma de la cámara de granallado y el costo de mantenimiento, fueron seleccionadas como fuente de luz, las lámparas fluorescentes, ya que proporcionan bajo brillo y mínimo deslumbramiento reflejado. Las lámparas fluorescentes T8 de 32W de potencia, son las que proporcionan mejor iluminación y poseen menos mercurio contaminante para el ambiente (Anexo 5.1).

5.4.2 Luminarias:

Las características que deben poseer las luminarias para cumplir con las condiciones de trabajo de la cámara de granallado son:

- Antiexplosivas.
- A prueba de polvo.

- Resistentes a la corrosión y abrasión.
- De fácil montaje y mantenimiento.
- De luz semidirecta.

El tipo de luminaria que cumple con todas las características anteriores es la luminaria clase I, división 2, modelo FVN, tres lámparas por luminaria. Para cumplir con lo anterior se tomó en cuenta la luminaria industrial FVN General Fluorescent de la Crouse-Hinds o similar (Anexo 5.2 y 5.3).

5.5 CÁLCULO DEL NÚMERO DE LÁMPARAS Y LUMINARIAS REQUERIDAS EN LA CÁMARA DE GRANALLADO.

El método seleccionado para la determinación del número de lámparas y luminarias requeridas es el método de cálculo de los lúmenes, este método proporciona la iluminación media de un local y suele emplearse para áreas amplias en las que la iluminación es sensiblemente uniforme.

El método de cálculo de los lúmenes está basado en la definición del lux, que es igual a un lumen por metro cuadrado y por lo tanto:

$$\text{Número de Lux} = \frac{\text{Lúmenes incidentes sobre una superficie}}{\text{Área en metros cuadrados}}$$

Conociendo la emisión luminosa inicial de cada lámpara (dato suministrado por el fabricante, (Anexo 5.1), el número de éstas

instalado en la zona y el área de ésta en metros cuadrados, pueden calcularse los lúmenes por metro cuadrado generados inicialmente en una determinada área. Este valor, sin embargo, difiere del número de lux en dicha área, ya que algunos lúmenes son absorbidos por la luminaria, y también debido a otros factores tales como: la suciedad de la luminaria, la disminución gradual de la emisión de luz de las lámparas, etc. Estos factores, entre otros se toman en consideración en la formula del método de los lúmenes:

$$\text{Nivel en lux} = \frac{\text{Lámparas por luminaria} \times \text{lúmenes por lámpara} \times \text{coef. de utilización} \times \text{factor de conservación o de pérdidas}}{\text{Área por luminaria}}$$

Al emplear el método de los lúmenes han de tenerse en cuenta cinco puntos fundamentales:

1. Determinación del nivel de iluminación requerido.
2. Determinación del coeficiente de utilización.
3. Determinación del factor de conservación o de pérdida de luz.
4. Cálculo del número de lámparas y luminarias requeridas.
5. Fijación del emplazamiento de las luminarias.

5.5.1 Determinación del nivel de iluminación requerido:

El nivel de iluminación seleccionado para la cámara de granallado es de 1100 lux, para asegurar una buena calidad de iluminación en la cámara de granallado.

5.5.2 Determinación del coeficiente de utilización (CU):

El coeficiente de utilización es la relación entre los lúmenes que alcanza el plano de trabajo (se toma como tal un plano horizontal a 1 m. sobre el suelo, norma **COVENIN** "Iluminancias en tareas y áreas de trabajo"), y los lúmenes totales generados por la lámpara. Es un factor que tiene en cuenta la eficacia y la distribución de la luminaria, su altura de montaje, las dimensiones del local y las reflectancias de las paredes, techo y suelo. A causa de las múltiples reflexiones que tiene lugar dentro de un local, una parte de lux pasa hacia abajo a través del plano imaginario de trabajo más de una vez, por lo que en algunas circunstancias el coeficiente de utilización es mayor que uno.

■ Cálculo de la relación de cavidad del local (**RCL**):

La relación de la cavidad del local, puede calcularse de la siguiente forma, (Figura 5.3):

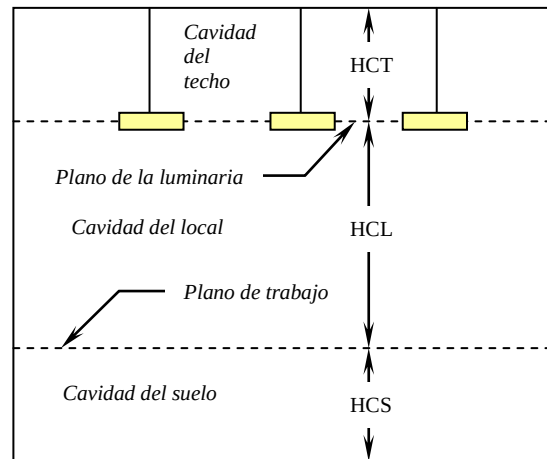
$$RCL = \frac{5H(L + A)}{L \times A} = \frac{5 * 1,78 * (6,8 + 5,2)}{6,8 * 5,2} = 3,0203$$

donde:

H = altura de la cavidad

L = largo de la cámara

A = ancho de la cámara



Cavidades de un local
Figura 5.3

El coeficiente de utilización puede determinarse entonces para la propia relación de la cavidad del local y las reflectancias apropiadas de la pared y la cavidad del techo. Para luminarias montadas o empotradas en el techo la reflectancia de la cavidad del techo es la misma que la del techo real. Para lámparas suspendidas, en cambio, es necesario determinar la reflectancia efectiva de la cavidad del techo (**RECT**) como sigue:

- Cálculo de la relación de cavidad del techo (**RECT**), utilizando la misma formula que se usó para determinar la del local, usando como H la distancia desde las luminarias al techo.

$$RECT = \frac{5H * (L + A)}{L * A} = \frac{5 * 0,66 * (6,8 + 5,2)}{6,8 * 5,2} = 1,1199$$

- La reflectancia efectiva de la cavidad del suelo (**RECS**), se calcula a partir de la relación de la cavidad del suelo (**RCS**) usando las fórmulas antes mencionadas.

$$RCS = \frac{5H * (L + A)}{L * A} = \frac{5 * 1 * (6,8 + 5,2)}{6,8 * 5,2} = 1,6968$$

La reflectancia efectiva de la cavidad del techo (**RECT**) se determina a partir de la tabla reflectancias efectivas de cavidad (Anexo 5.4). La reflectancia base es la del techo; la de la pared es la correspondiente a la parte de la pared que está por encima de las luminarias. Para el cálculo de RECT se necesitan los factores de reflexión de paredes (FRP) y techo (FRT) (Anexo 5.5):

FRP = 30% (marrón oscuro).

FRT = 10% (gris oscuro).

Con lo anterior se obtuvo que la relación de la cavidad efectiva del techo es 24% y la reflectancia efectiva de la cavidad del suelo es 9%. Con los valores obtenidos de ambas reflectancias se halla el coeficiente de utilización para la luminaria (Anexo 5.6) $CU = 0,4522$.

5.5.3 Determinación del factor de conservación o de pérdidas de luz (FP):

A partir del día en que una instalación de alumbrado nueva se pone en funcionamiento, la iluminación va sufriendo cambios constantes a medida que las lámparas envejecen, las luminarias

acumulan suciedad y se hace sentir el efecto de otros factores que contribuyen a las pérdidas de luz. Algunos factores de pérdida pueden en ciertos casos tender a producir un incremento de la iluminación, pero su efecto neto es casi siempre el de causar un descenso en el nivel de iluminación.

El factor ideal de pérdidas es el producto de todos los factores parciales, y se define como la relación entre la iluminación existente cuando ésta alcanza su nivel más bajo en el plano de trabajo (sin efectuar alguna acción correctora), y el nivel inicial de iluminación sin considerar los factores parciales de pérdidas.

La iluminación inicial es la que sería producida por las lámparas cuando éstas proporcionan su emisión nominal. Los fabricantes de lámparas clasifican a las lámparas de descarga de vapor (incluidas las fluorescentes, las de mercurio y todos los tipos de corrientes) según su emisión de luz después de 100 horas de funcionamiento.

Existen ocho factores parciales de pérdida que deben tenerse en cuenta. De algunos de ellos puede hacerse una estimación y otros se pueden evaluar basándose en gran número de datos de ensayo o de información suministrada al respecto. Estos ocho factores son:

1. Características de funcionamiento de la reactancia, FR.

Las especificaciones de la Certified Ballast Manufacturers Association para lámparas fluorescentes requieren una reactancia

tal que haga trabajar a la lámpara al 95% de la emisión luminosa que proporciona cuando trabaja con una reactancia patrón, entendiendo por ésta a una de laboratorio usada por los fabricantes para establecer los valores nominales de la lámpara. El valor por funcionamiento de reactancia para lámparas fluorescentes es $FR = 0,95$.

2. Tensión de alimentación de las luminarias, TAL.

Los lúmenes emitidos por una lámpara fluorescente varían aproximadamente un 1% por cada 2,5% de variación en la tensión primaria, por lo tanto su valor es $TAL = 1$.

3. Variaciones de la reflectancia y transmitancia de la luminaria, VRTL.

Este efecto es normalmente pequeño, pero puede ser significativo después de un largo período de tiempo en las luminarias con acabados o plásticos de inferior calidad, $VRTL = 0,98$.

4. Fallo de lámparas, FL.

Los fallos de lámparas deben subsanarse rápidamente o, de lo contrario, habrá unas pérdidas de iluminación proporcionales al porcentaje de lámparas fuera de servicio, $FL = 1$.

5. Temperatura ambiente de la luminaria, Temp.

Las lámparas fluorescentes normalmente se calibran fotométricamente a 25°C. Desviaciones significativas de esta temperatura, por encima o por debajo, pueden producir pérdidas sustanciales de la emisión luminosa, $Temp = 1$.

6. Luminarias con intercambio de calor, LIC.

Las luminarias que sirven a la doble finalidad de suministrar iluminación y de actuar como retorno de aire en el sistema de ventilación se calibran fotométricamente sin paso de aire a través de las mismas. Por tanto, cuando son instaladas y se extrae aire del local a través de ellas, su eficacia aumenta, a veces hasta un 20% en los casos en que la luminaria está sobrecargada con la potencia de la lámpara, $LIC = 1$.

7. Degradación luminosa de la lámpara, DLL.

La gradual reducción de la emisión luminosa de lámpara a medida que transcurre su vida es más rápida en unas lámparas que en otras. El factor de pérdidas por este concepto para las fluorescentes viene dado generalmente como la relación entre la emisión luminosa de la lámpara cuando ha transcurrido el 70% de su vida nominal y el valor inicial (a las 100 horas) de dicha emisión, $DLL = 0,93$.

8. Disminución de emisión luminosa por suciedad, DELS.

Este factor varía con el tipo de luminaria y el ambiente en que trabaja. La luminaria seleccionada es de la clase I, con emisión luminosa por suciedad generada condiciones de ambiente medio y limpieza cada 2 años (Anexo 5.7 y 5.8). Una vez determinada la categoría se lee el factor correspondiente $DELS = 0.8$.

Los datos anteriores son para lámparas fluorescentes. El factor de pérdidas FP es igual al producto de los factores antes expuestos.

$$FP = FR * TAL * VRTL * FL * Temp * LIC * DLL * DELS$$

$$FP = 0,7446$$

5.5.4 Cálculo del número de lámparas y luminarias requeridas:

El número de luminarias y lámparas se puede calcular por las siguientes fórmulas:

$$\text{Número de lámparas} = \frac{\text{Nivel luminoso en lux} \times \text{Superficie}}{\text{Lúmenes por lámpara} \times \text{CU} \times \text{FP}}$$

$$\text{Número de lámparas} = \frac{1100 * 6,8 * 5,2}{3000 * 0,4522 * 0,7446}$$

$$\text{Número de lámparas} = 38,5061 \cong 40$$

$$\text{Número de luminarias} = \frac{\text{Número de lámparas}}{\text{Lámparas por luminaria}} = \frac{40}{3} = 13,333$$

El número de luminarias calculado se aproxima al valor par superior, es decir catorce (14) luminarias, para así obtener un número de luminarias par y con esto lograr una iluminación uniforme.

Todos los resultados de los cálculos realizados para obtener el número de lámparas y luminarias requeridas son señalados en la Tabla N° 5.1.

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN	
<i>Dimensiones del local:</i>	
Longitud (m)	6,8
Anchura (m)	5,2
Altura (m)	3,44
Plano de trabajo (m)	1
Altura de lámparas "del techo" (m)	0,66
Nivel de luminoso (Lux)	1100
Tipo de montaje	Colgante
Tipo de tubo	Fluorescente
Relación de la cavidad del Local	3,020
Relación de la cavidad del Techo	1,1199
Relación de la cavidad del Piso	1,6968
Factor de reflexión de paredes	0,3
Factor de reflexión del techo	0,3
Factor de reflexión del piso	0,1
Reflectancia efectiva de la cavidad del techo	24%
Reflectancia efectiva de la cavidad del piso	9%
<i>Especificaciones de las luminarias</i>	
Marca de las luminarias	Crouse-Hinds
Tipo de luminarias	FVN4332TG/120
Coeficiente de utilización	0,4522
<i>Especificaciones de las lámparas</i>	
Marca de las lámparas	Philips
Tipo de lámparas	F32T8/TL830
Factor de pérdidas	0,7446
Número de lámparas	38,5061
Número de lámparas realmente	40
Número de luminarias	14
Marca del balasto	Philips
Tipo de balasto (electrónico)	RCN-3P32 o SSB2-120-3/32 IS LH

Resultados del sistema de iluminación
Tabla 5.1

5.5.5 Fijación y ubicación de las luminarias en la cámara de granallado:

La colocación de las luminarias depende de la arquitectura general y dimensiones del edificio, tipo de luminaria, emplazamiento de las salidas de conductores existentes con antelación, disposición de la pieza a granallar, etc. Los equipos fluorescentes deben montarse con frecuencia en filas continuas.

La distribución de las luminarias en la cámara de granallado se debe a la necesidad de iluminar más la zona central de la cámara debido a que el proceso de limpieza se realiza en esta zona.

La Figura 5.4 que se presenta a continuación indica la disposición de las luminarias, seleccionadas para la cámara de granallado.

6. DISEÑO DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE ABRASIVOS.

6.1. GENERALIDADES.

En este capítulo se desarrolla el diseño del sistema de recolección de la granalla utilizada en la limpieza de las piezas de trenes, que se realiza por medio de la metodología de diseño, la cual contempla: la formulación del problema, el análisis, sus requerimientos y limitantes, posibles soluciones (tormenta de ideas), y la elección de la solución a través de un análisis comparativo en una matriz morfológica.

6.2. PROCEDIMIENTO ACTUAL.

La recuperación de la granalla que se encuentra esparcida en todo el piso de la cámara se realiza manualmente por un operario que recorre la cámara con una aspiradora neumática, transportando la granalla recolectada a un separador centrífugo, el cual descarga el abrasivo en la tolva de la máquina aire/granalla para luego ser reutilizada en otras piezas.

Los operarios llevan a cabo este procedimiento una o dos veces a la semana, debido a que el equipo utilizado para la

recolección es poco eficiente. El esparcimiento de la granalla en el área ocasiona deterioro, desgaste y desperdicio de la misma, además de ser un riesgo laboral para los operadores por lo resbaladizo que queda el suelo.

6.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE GRANALLAS.

6.3.1. Formulación del problema:

Al enfrentar un problema en ingeniería se debe seguir una secuencia lógica de pasos para la búsqueda de la mejor solución a dicho problema, sin que esta secuencia pueda limitar las posibles soluciones.

Para comenzar a tratar un problema se debe alcanzar primero la definición del mismo, y esta definición debe ser de forma amplia sin consideración de detalles, para esto se debe estar ampliamente relacionado con el problema, *"un problema está virtualmente resuelto si está realmente bien planteado"*, (Krick, E. 1974).

Se requiere diseñar un sistema de recolección de granallas para la cámara, que contemple:

- Evitar la acumulación de granallas en el piso de la cámara, para disminuir la degradación de la granalla a reutilizar y el riesgo laboral de los operadores.

- Transportar la granalla empleada en la limpieza de piezas desde la cámara hasta la tolva de la máquina de granallar, para ser reutilizada.

6.3.2. Análisis del problema:

El formular el problema de una manera detallada conlleva a descripciones precisas del material (granalla metálica) a transportar (Targhetta, L. 1970). En la limpieza de los semi-chasis y traviesas de los Bogies son empleados dos tipos de granallas: redonda y angular, en una proporción de 1:4, las descripciones necesarias son:

a) Granalla redonda S280:

- Características generales:

Granalla procedente de la fusión de chatarras seleccionadas con tratamiento térmico posterior.

- Características químicas. Análisis típico (%) conforme SAE J827:

C	Mn	P	S	Si
0,85-1,2	0,60-1,20	0,050 máx.	0,050 máx.	0,4 mín.

- Dureza 40/50 HRc.
- Densidad aparente 3,2-3,8
- Distribución granulométrica: 0,7 mm.

- El ángulo de deslizamiento " σ " (ángulo mínimo para que el material deslice sobre una superficie inclinada), es de 14° para la granalla empleada, (Anexo 6.1).
- Color gris oscuro.
- Remoción de metal alta-media.

b) Granalla angular GP/40:

- Características generales:
Granalla procedente de la trituración de la granalla redonda, por lo que posee las mismas características básicas.
- Distribución granulométrica: 0,4 mm.

6.3.2.1. Cálculo del volumen de granalla a emplear en el sistema de recolección:

Para obtener una aproximación del volumen de granallas empleado en el proceso de granallado, se considera:

- La experiencia de los operadores del área.
- Para el cálculo del volumen de granalla empleado se toma en cuenta el chasis, por ser la pieza que requiere mayor cantidad de granalla para su limpieza, debido a la complejidad de su geometría y tamaño.
- En un turno de trabajo (4 horas), se puede llegar a decapar un máximo de cuatro chasis (condición más desfavorable). Si son decapados ocho (8) chasis (jornada más desfavorable), es decir, dos (2) turnos de trabajo, la máquina de granallar

debe ser recargada cada dos (2) días. La capacidad de la máquina de granallar es de 90 Kg

- El tiempo de operación empleado en la remoción de soldadura oscila entre de 15 y 20 minutos, en la remoción de pintura entre de 30 y 45 minutos, se emplea éste último para los cálculos, se debe señalar que el traslado y ajuste de las piezas en los puestos le toma a los operadores 15 minutos aproximadamente.

Por lo tanto, se tiene que 90 Kg. de granallas dura 2 días, es decir, 16 horas $\Rightarrow$ 960 min. y el tiempo empleado en decapar un chasis es 45 min., Entonces:

$$45\text{min} \times \frac{90\text{kg}}{960\text{min}} = 4,2 \text{ kg de granallas por chasis}$$

$$\text{Masa total por día} = 4,2 \times 8 \text{ chasis} = 33,6 \text{ kg}$$

$$\rho_{\text{rel}} = 3,5 \Rightarrow \rho = \rho_{\text{H}_2\text{O}} \times \rho_{\text{rel}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 3,5 = 3500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{35\text{kg}}{3500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,01 \text{ m}^3 = 10000 \text{ cm}^3$$

6.3.2.2. Requerimientos y limitaciones para diseñar el sistema de recolección de abrasivo:

- El espacio disponible para el sistema de recolección de la granalla se encuentra limitado por el área externa de la cámara, el cual es reducido debido al sistema de ventilación, vías de trenes y otros puestos de trabajo.

- El sistema de recolección debe ser de fácil operación y mantenimiento.
- Debe ser económicamente factible y de fácil construcción.
- Se debe garantizar la calidad y características de la granalla, para que el producto del proceso de limpieza sea satisfactorio.
- Debe poseer cierta rapidez y seguridad durante el transporte de la granalla.
- Debe reducir el trabajo o esfuerzo humano.

6.3.3. Búsqueda de soluciones para el sistema de recolección de abrasivo:

Para diseñar del sistema de recolección, que cumpla con los requerimientos y limitaciones de diseño, la búsqueda de soluciones se divide en dos partes:

- La acumulación de la granalla empleada en el interior de la cámara.
- El transporte de la granalla desde el punto de acumulación hasta la máquina de granallar.

6.3.3.1. Acumulación de granallas:

Esta parte de la recolección consiste en apilar toda la granalla esparcida en el suelo de la cámara en un espacio destinado para ello, el cual se denomina punto de acumulación.

La acumulación del abrasivo en la industria es comúnmente realizada empleando tolvas para la retención y transporte de éste a la máquina dispensadora.

La tolva de recolección consiste en un recipiente ubicado en el área donde se acumule la granalla después del trabajo de limpieza. Estas tolvas están disponibles en la industria en muchos tamaños, materiales y configuraciones dependiendo de las necesidades de diseño.

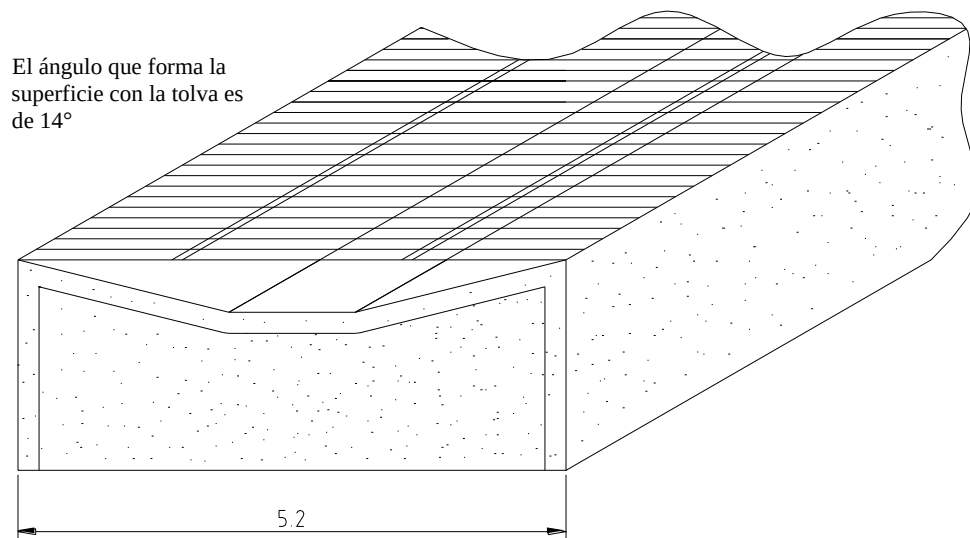
Un aspecto importante en el diseño de las tolvas de recolección es el ángulo de inclinación de las paredes del recipiente. Se define el ángulo de inclinación a la pendiente mínima de una superficie para que el abrasivo deslice. La granalla desliza en una superficie a partir de un pendiente de 11° , tomando un factor de seguridad de 30%, se tiene que dicho ángulo para el diseño es de 14° .

Para determinar la solución económicamente factible y segura en la recolección del abrasivo, se comparan varias propuestas en una matriz morfológica, éstas se diferencian por la estructura, tolvas y ubicación.

Las soluciones a estudiar son las siguientes:

Solución No.1:

En este diseño el piso de la cámara es totalmente de rejillas metálicas y la acumulación de granalla se logra a través de una tolva de concreto cubiertas con láminas de metal (acero galvanizado). Figura 6.1.



Solución N°1
Figura 6.1

Ventajas:

- Participación mínima del operario.
- Mantiene libre de granalla el área de trabajo.
- Mayor rapidez de acumulación.

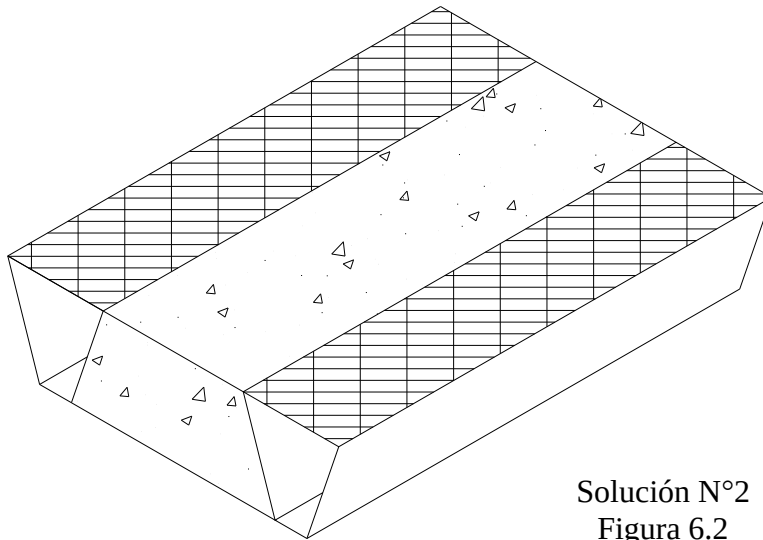
Desventajas:

- Alto costo de inversión.
- Gran obra civil.

- Requiere de un estudio de materiales para la construcción del piso.

Solución No.2:

En esta propuesta se utilizan dos tolvas de láminas de metal, se encuentran en ambos lados de la cámara, dejando el área central del piso de concreto, en la cual se ubicará la pieza de trabajo. Figura 6.2.



Solución N°2
Figura 6.2

Ventajas:

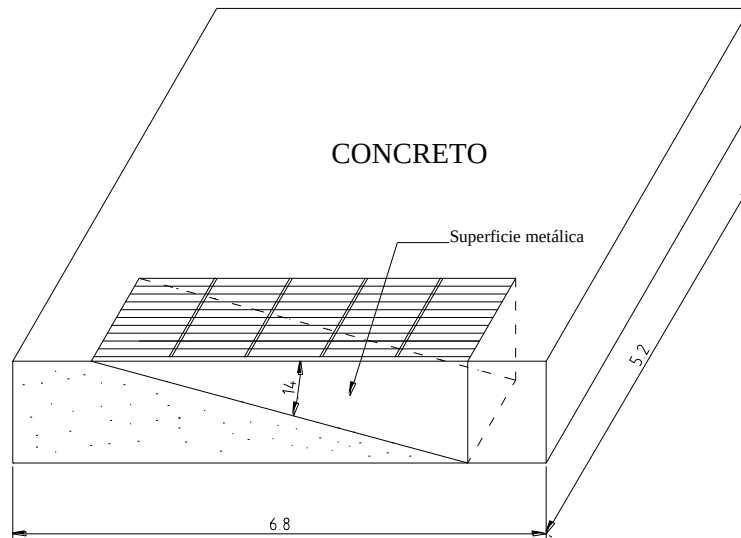
- Disminución del esfuerzo humano.
- Rapidez en la ejecución de la acumulación.
- Resistencia a la carga de la pieza de trabajo.

Desventajas:

- Mediano costo de inversión.
- Obra civil moderada.

Solución No.3:

Esta propuesta consiste en una zanja inclinada, construida en concreto y con una lámina de metal en su superficie Figura 6.3, dejando gran parte del área de piso de la cámara libre.



Solución N° 3
Figura 6.3

Ventajas:

- Bajo costo de inversión.
- No son necesarios estudios de materiales, debido a que no soporta la carga de la pieza de trabajo.
- Su obra civil es sencilla.

Desventajas:

- La reducción del esfuerzo humano es moderada.

Solución No.4:

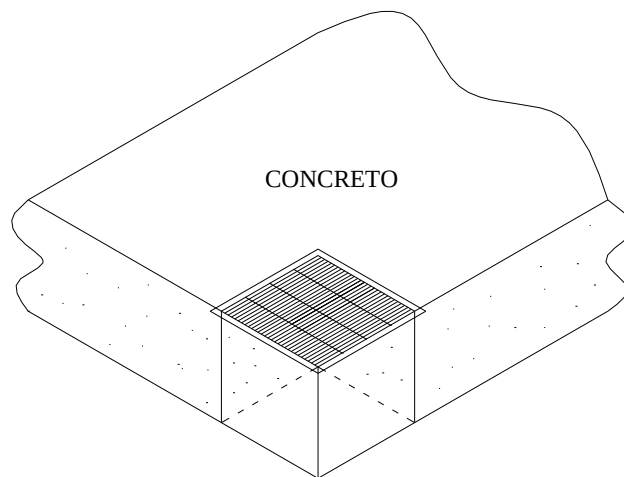
Consiste en una fosa, construida en concreto, ubicada en una esquina de la cámara. La fosa está protegida por una rejilla metálica en su parte superior. Figura 6.4.

Ventajas:

- Fácil construcción.
- Costo de inversión bajo.
- Poco espacio físico utilizado.

Desventajas:

- Baja disminución del esfuerzo humano.
- Mayor tiempo empleado para la acumulación.



Solución N°4
Figura 6.4

Matriz de selección:

En este punto del proceso de diseño, se realiza un estudio comparativo de las alternativas con una herramienta llamada "Matriz de selección o Matriz morfológica", que define los factores a considerar para obtener la solución más adecuada en la acumulación de granalla, asignándoles un valor porcentual según la importancia que tenga cada factor.

Para realizar la evaluación de cada solución propuesta se toma en cuenta con la siguiente escala de puntuación:

Deficiente = 1

Aceptable o bueno = 2

Muy bueno = 3

Excelente = 4

Luego para obtener el valor final, se multiplica la puntuación anterior de cada solución por el asignado en porcentaje y sumar todos los resultados para así obtener el total a comparar entre las distintas soluciones.

Parámetros que se deben considerar en la selección del punto de acumulación de granallas:

a) Costo de inversión: es el gasto económico que se debe realizar en la construcción de la tolva de recolección.

b) Fácil construcción: se refiere a complejidad del diseño y obra civil de cada propuesta.

c) Rapidez en la ejecución: es el tiempo empleado en acumular la granalla en el punto de acumulación.

d) Reducción del esfuerzo humano: se refiere a la participación del operador en el proceso de acumulación.

e) Espacio físico utilizado por el punto de acumulación: se refiere al espacio ocupado por la estructura de la tolva.

f) Facilidad de acceso para mantenimiento: es la disposición que posee la tolva para realizarle una limpieza o cambio de elementos.

g) Seguridad: el conjunto tolva/piso debe ser capaz de soportar la carga de la pieza de trabajo más la de los operadores. Además de evitar la acumulación de granallas en el piso de la cámara.

Característica	%	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4
Costo de inversión	26	1	2	3	3
Fácil construcción	15	1	2	3	4
Rapidez en la ejecución	10	2	3	3	1
Reducción del esfuerzo humano	12	4	3	2	1
Espacio físico utilizado por el punto de acumulación	10	1	2	4	4
Facilidad de acceso para mantenimiento	7	2	2	3	4
Seguridad	20	3	4	4	4
Total	100	1,93	2,62	3,18	3,08

Matriz morfológica del punto de acumulación

Tabla 6.1

La ponderación en porcentaje elegida para cada parámetro de la matriz de selección de las tolvas, de acuerdo con su importancia es:

Costo de inversión 26%, debido a la inversión de capital para la construcción, el estudio de suelo y las obras civiles para momento de instalar la tolva.

Fácil construcción 15%, por la poca modificación del taller de mantenimiento y la interrupción del ritmo de trabajo en éste por las obras.

Rapidez de ejecución 10%, por la necesidad de realizar la acumulación en el menor tiempo.

Reducción del esfuerzo humano 12%, por disminuir la participación de los obreros el proceso de recolección.

El espacio físico utilizado por el punto de acumulación 10%, el espacio que ocupe el sistema para no entorpecer los demás puestos de trabajo del taller.

Facilidad de acceso para el mantenimiento 7%, debido a que son estructuras que no necesitan un mantenimiento constante.

Seguridad 20%, es un punto importante para el diseño disminuir el riesgo laboral.

Los resultados obtenidos en la matriz de selección para evaluar las distintas propuestas, demuestran que la Solución No. 3 es apropiada para la acumulación de granalla.

El costo de inversión, instalación de obras civiles, de la tolva seleccionada es relativamente bajo con respecto a la solución No. 1 y 2.

La fácil instalación de la Solución No.3 y el espacio físico utilizado para su construcción, se toma en cuenta porque es menor el tiempo de parada de la línea de mantenimiento al movilizar maquinaria y obreros como se haría en las soluciones 1 y 2.

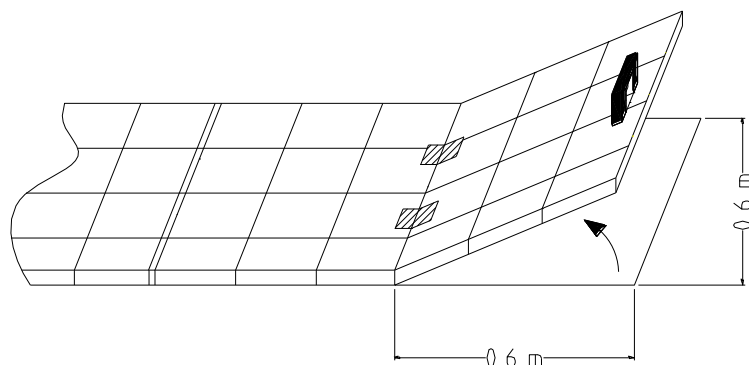
Todas las propuestas fueron creadas considerando la seguridad del(los) operador(es) en el área de trabajo, reduciendo el riesgo que ocurra un accidente, por ejemplo el resbalamiento (caída) del operador por causa de la granalla esparcida en la cámara.

Al implementar la Solución No. 3 se logra una reducción del esfuerzo humano al momento de recolectar la granalla usada en comparación con la solución No. 4, ya que el área de barrido es menor.

6.3.3.2. Disposiciones constructivas del punto de acumulación seleccionado:

- La zanja es de 0,6 m de ancho, debido a que la cantidad de granalla a reutilizar es reducida por turno de trabajo, 4,8 m de largo, para facilitar el barrido al operador, la inclinación de la zanja va de la puerta de acceso hasta la puerta de salida de las piezas a la cámara, siendo la profundidad máxima de la zanja 1,3 m, Figura 6.5. El ángulo de inclinación seleccionado es de 14° para así garantizar el deslizamiento de las granallas por la zanja (Anexo 6.1).

- La losa del piso es de 0,2 m de espesor para hacerla como continuación y con los refuerzos del piso actual por recomendación de la División de obras civiles de CAMC para disminuir los costos de construcción.



Disposición de las rejillas en la zanja

Figura 6.5

- La zanja debe estar recubierta con láminas de acero inoxidable para proteger la superficie de concreto y lograr un mejor deslizamiento de la granalla.
- La rejilla de protección debe ser construida en acero estructural SAE 1020-1030 (Anexo 6.2) y estar dividida en ocho (8) tramos cuadrados de 0,6 m de lado para hacerla más liviana y manejable al momento del mantenimiento.
- La rejilla batiente se ubica en la zona más profunda de la zanja con un par de bisagras además de una agarradera cuyo objetivo es facilitar el acceso al punto de acumulación para el transporte de granallas a la tolva de la máquina (Figura 6.5).

6.3.3.3. Transporte de granallas desde el punto de acumulación hasta la máquina dispensadora:

La parte que corresponde al transporte, consiste en trasladar el material abrasivo usado en la limpieza desde el punto de acumulación hasta la máquina de granallar para ser reutilizada.

Para esta etapa del diseño se comparan los distintos mecanismos existentes en la industria para el transporte de este tipo de material y se selecciona el sistema adecuado de acuerdo a los requerimientos y limitaciones del diseño.

Tipos de transportadores:

Para la búsqueda de una solución al problema planteado, se realiza un análisis de las características de los sistemas transporte de mayor uso en la industria. Los sistemas de transporte que pueden ser compatibles con el tipo de trabajo a realizar son:

1. Transportadores neumáticos:

El sistema de transporte neumático trabaja creando una diferencia de presiones entre dos puntos, uno de carga y otro de descarga, por esto existen dos tipos esenciales de estos transportes:

1. Los que actúan por succión, es decir, la presión es menor a la presión atmosférica.

2. Los que actúan por presión de aire, es decir, el material es transportado en aire comprimido.

En los que actúan por presión, el ventilador que produce la depresión, está situado detrás del punto de descarga y esto hace posible tener varios puntos de carga y sólo uno de descarga.

Ventajas:

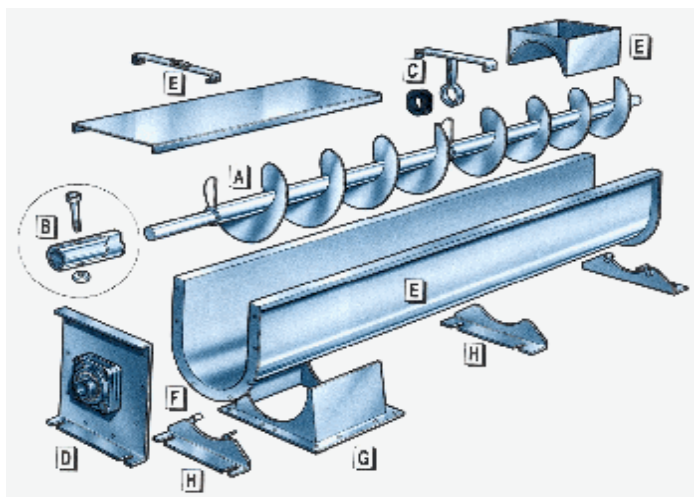
- Gran limpieza.
- Economía de espacio y facilidad de adaptación de los ductos.
- Alta eficiencia en manejo de materiales granulados secos.
- Poco equipos.
- Facilidad de mantenimiento.
- Se adapta fácilmente al lugar de recolección.

Desventajas:

- Alto consumo de energía.
- Desgaste rápido de las tuberías si los materiales son muy abrasivos.
- Costo inicial es alto.
- Son ruidosos, lo que elevaría los costos.

2. Tornillo de Arquímedes o Sinfín:

Consta de una hélice arrollada a lo largo de un eje que puede ser macizo o tubular, dependiendo de las dimensiones. Generalmente la hélice es completa, cubre toda la superficie comprendida entre el eje y la superficie exterior, pero pueden existir otros arreglos, como pueden ser hélice hueca, hélices con doble entrada, etc.



- A: Tornillo Sin-Fin.
- B: Bocina y Acoplador.
- C: Soporte Colgante.
- D: Tapa Terminal.
- E: Canal, Boca de Carga, Reten.
- F: Soporte de Piso Intermedio.
- G: Boca de Descarga.
- H: Soporte de Piso Intermedio

Tornillo Sin-Fin
Figura 6.6

Los materiales abrasivos o corrosivos pueden manejarse con una construcción adecuada de la hélice y del canal o artesa. La hélice normal de estos transportadores tienen un paso más o menos igual a su diámetro exterior. El tornillo elevador es utilizado cuando se requiere elevación de productos y materiales en distancias cortas o el área a utilizar para elevar el producto es muy pequeña.

Ventajas:

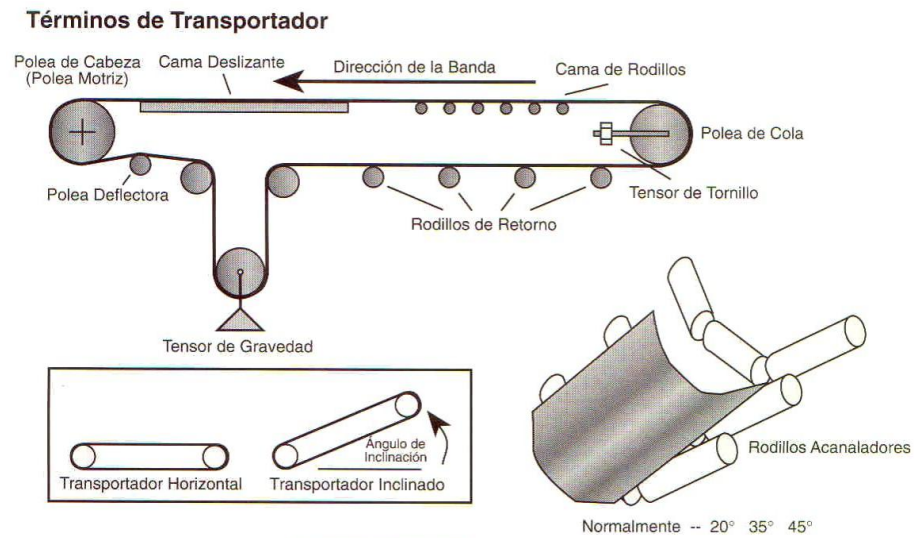
- La máquina puede ser cargada en cualquier punto.
- Su función es suave y no se atasca.
- Son compactos y se usan en horizontal, inclinado o vertical.
- Requieren poco mantenimiento y tienen cierres herméticos a prueba de agua y polvo.

Desventajas:

- Inversión inicial alta.
- Poseen muchos puntos de lubricación.
- El acceso para mantenimiento es difícil.
- Existe un aumento del consumo de energía al aumentar la inclinación, no son recomendados ángulos mayores a 15 ° con respecto a la horizontal.
- Los elevadores de Tornillo sinfín tienen un uso muy amplio para materiales pulverizados o granulares.
- Los materiales abrasivos o corrosivos pueden manejarse con una construcción adecuada de la hélice, con espiras seccionales para el tornillo, lo que se traduce en un incremento de costos.

3. Transporte de Bandas:

Estos sistemas de transporte constan esencialmente de una banda que se desplaza a lo largo de un tramo determinado sobre unos rodillos de diferentes formas, accionada en uno de sus extremos por un tambor motriz unido a un motor. Se utilizan en forma exclusiva cojinetes antifriccionantes sellados en las poleas y tienen graseras para la lubricación a presión, que requieren atención más o menos una vez al año.



Transportador de bandas
Figura 6.7

Ventajas:

- Posee gran capacidad de transporte.
- Gran variedad de materiales y granulometría.
- Funciona de manera suave y silenciosa.
- Carga y descarga en cualquier punto.

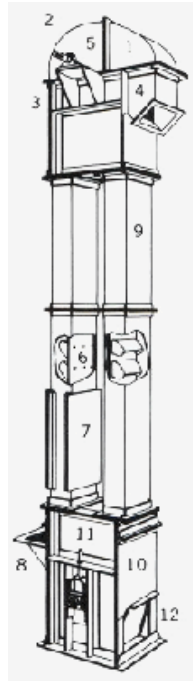
Desventajas:

- Alto costo de inversión.
- Requieren de áreas extensas para su instalación.
- Para ángulos de inclinación pequeños son de grandes longitudes.
- Alto costos de mantenimiento, por poseer muchos puntos de lubricación.

4. Transportador de Cangilones:

Este tipo de elevadores se emplean con éxito cuando se trata de elevar vertical o inclinadamente, su eficiencia es alta, su costo es bajo, y su manejo es relativamente fácil.

La máquina consiste en una cinta, correa o cadena a la cual van adosado unos cangilones o tazas de acero o plástico. La banda o cadena es movida generalmente desde la parte superior por una polea de gran diámetro y ajustada ligeramente por otra similar en la parte inferior.



- 1,2: Tapa de Cabezal Motriz.
- 3: Cabezal Motriz.
- 4: Boca de Descarga.
- 5: Eje Motriz, Chumacera.
- 6: Cangilones, Correa.
- 7: Compuerta de Inspección.
- 8: Boca de Carga.
- 9: Ductos.
- 10: Cabezal Tensor.
- 11: Compuerta de Inspección.
- 12: Compuerta de Limpieza.

Transportador de cangilones
Figura 6.8

Ventajas:

- Ocupan poco espacio.
- Se emplean para materiales granulados.
- Bajo costo de inversión.

Desventajas:

- Son diseñados para transportar grandes cantidades de material, se justifican a partir de 10 ton.

Matriz morfológica:

Para la elección del sistema de transporte para la trasladar la granalla desde la cámara hasta la máquina dispensadora aire/abrasivo, se realiza un estudio comparativo en una matriz de selección o morfológica. Los parámetros a evaluar en la matriz son siguientes:

- a) **Eficiencia:** es el parámetro que mide si el funcionamiento del equipo es óptimo al realizar el trabajo.
- b) **Espacio ocupado por el sistema:** el sistema que se debe instalar para el transporte se encuentra limitado por el área de la cámara.
- c) **Costo de inversión:** es el capital inicial que se debe aportar para la compra e instalación de los equipos.
- d) **Costo de mantenimiento:** es el gasto económico que se realiza periódicamente al equipo para que opere bajo los parámetros de diseño.
- e) **Facilidad de acceso para el mantenimiento:** es la disposición que posee el sistema para realizarle reparaciones o cambio de elementos.
- f) **Seguridad:** los equipos deben prevenir cualquier riesgo de accidente laboral.

g) Simplicidad del sistema: se refiere a la cantidad de equipo que conforma al sistema de transporte, lo que se traduce en un incremento del costo de inversión, mantenimiento y el espacio ocupado.

Para realizar la evaluación de cada solución propuesta se toma en cuenta la siguiente escala de puntuación:

Deficiente = 1	Recordando que:
Aceptable = 2	1: Sistema neumático
Bueno = 3	2: Tornillo Sin-Fin
Muy bueno = 4	3: Transportador de bandas
Excelente = 5	4: Transportador de cangilones

Parámetros de evaluación	%	1	2	3	4
Eficiencia del sistema de transporte	20	5	2	2	3
Espacio ocupado por el sistema de transporte	16	4	2	1	3
Costo de inversión del sistema de transporte	16	4	3	3	2
Costo de mantenimiento del equipo	14	3	2	1	2
Facilidad de acceso para el mantenimiento	12	4	2	2	3
Seguridad	10	4	2	2	3
Simplicidad del sistema de transporte	12	5	2	1	4
Total	100	4,18	2,16	1,74	2,82

Matriz de selección del sistema de transporte de granallas

Tabla 6.2

La ponderación en porcentaje de los parámetros a evaluar se asigna de acuerdo a su importancia en el sistema, los cuales son:

Eficiencia 20%, se refiere a lo efectivo que es el sistema para transportar el volumen de granalla sin pérdidas de energía.

Espacio ocupado por el sistema 16%, debido que el espacio disponible para la cámara está limitado por otros puestos de trabajo de los talleres.

Costo de inversión 16%, unos de los parámetros mas importantes a la hora de diseñar.

Costo de mantenimiento 14%, parecido al costo de inversión, la empresa debe realizar un gasto económico periódicamente, además implica tiempo de parada de los trabajos.

Facilidad de acceso para el mantenimiento 12%, el equipo, personal y herramientas empleados en el mantenimiento aumenta la dificultad de éste.

Seguridad 12%, se debe garantizar la integridad física de los operadores.

Simplicidad del sistema 10%, debido a que este parámetro se encuentra reflejado en la eficiencia, los costos y la seguridad al poseer menos equipos para el transporte de la granalla.

Para el transporte de la granalla desde el punto de acumulación hasta la máquina dispensadora, el resultado obtenido en la matriz de selección para la cámara es el sistema neumático, por las siguientes razones:

El sistema no requiere de una edificación complementaria. En cambio, al utilizar otro de los sistemas de transporte mencionados

se debe adaptar una estructura o mecanismo especial al punto de acumulación, el abrasivo debe ser elevado 1,50 m para depositarlo en la máquina aire/abrasivo, lo que implica aumentos de costos, espacio requerido, equipos y mantenimiento.

Para poder reutilizar el abrasivo se debe separar la granalla de las trazas de pintura y otras partículas contaminantes que se recolecten, esto se logra directamente con un separador ciclónico en la línea neumática. En cambio, con otros sistemas se requiere de un mecanismo de limpieza adicional disminuyendo la simplicidad del mismo.

Este sistema es de fácil mantenimiento, en cambio los sistemas de transportador por bandas, tornillos sinfín y cangilones poseen muchos componentes, puntos de lubricación, etc., que hacen más costoso el mantenimiento de los mismos.

6.3.3.4 Metodología de cálculo del sistema neumático:

El aspecto más importante de los cálculos del transporte neumático lo constituyen las pérdidas de presión que ocurren en el sistema. El cálculo de éstas es complejo y requiere evaluar términos, algunos de los cuales son difíciles de obtener.

Se han efectuado numerosos estudios referidos a los coeficientes de pérdidas de presión en mezclas aire/sólido a través de una tubería en posición vertical y horizontal entre los cuales se encuentran los siguientes:

A. Método de ingeniería de ventilación.

B. Método de la Engineering Equipment Users Association
(E.E.U.A.)

A. Método de ingeniería de ventilación.

Nomenclatura:

A_m = Área proyectada promedio de la partícula del material (pie²).

D = Diámetro de la tubería (pulg).

H = longitud horizontal (pie).

L = Longitud vertical (pie).

V = Velocidad media del aire (pie/min).

W = Cantidad de material (lb/hr).

A = Área de la tubería (pie²).

F_d = Coeficiente promedio de arrastre de la partícula de el material (adimensional).

γ_m = Peso específico de el material (lb/pie³).

γ_a = Peso específico del aire (lb/pie³).

V_m = Volumen promedio de la partícula de el material (pie³).

g = Aceleración de la gravedad (pie/s²)

Velocidad de flotación:

$$V_f = \sqrt{\frac{2g \cdot \gamma_m \cdot V_m}{F_d \cdot \gamma_a \cdot A_m}}$$

$$V_f = \sqrt{\frac{2(32.185) \cdot 218 \cdot 6,34 \times 10^{-9}}{0,6 \cdot 0,0809 \cdot 4,142 \times 10^{-6}}} = 21,03 \frac{\text{ft}}{\text{s}}$$

$$V_f = 21,03 \text{ pie/s.}$$

V_f = Velocidad entre el aire y el material en la tubería vertical (pie/s).

Es de hacer notar que influye notablemente el peso específico, el tamaño y la forma de la partícula del material. Para deducir esta formula se tiene:

Fuerza de arrastre:

$$F_{arrastre} = \frac{1}{2} \cdot F_d \cdot \gamma_a \cdot V_f^2 \cdot A_m$$

Fuerza de gravedad:

$$F_{gravedad} = V_m \cdot \gamma_m \cdot g$$

Igualando fuerza de arrastre con la fuerza de gravedad, tenemos:

$$V_f = \sqrt{\frac{2g \cdot \gamma_m \cdot V_m}{F_d \cdot \gamma_a \cdot A_m}}$$

V_f = es la velocidad que debería tener el fluido de trabajo para que la partícula se mantenga flotando.

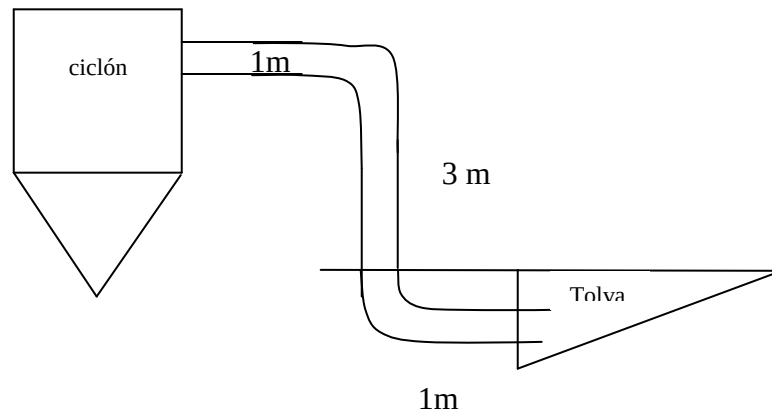
Velocidad relativa:

$$V_{relativa} = V_f (0,18 + 0,65 \times 10^{-4} V)$$

$$V_{relativa} = 10,62 \text{ pie/min}$$

V_r = velocidad entre el aire y el material en el tramo horizontal.

$V = 5000 \text{ pie/min}$ (Anexos 6.3).



Ruta del transporte neumático del abrasivo

Figura 6.9

Velocidad media del material:

a) Tramo horizontal:

$$V_m = V - V_r$$

$$V_m = 4989,38 \text{ pie/min.}$$

b) Tramo vertical:

$$V_m = V - V_f$$

$$V_m = 49978,97 \text{ pie/min.}$$

Este método se basa en el criterio de que la velocidad del material debe ser lo suficientemente alta para evitar su amontonamiento o minimizarlo.

Cantidad de aire:

$$W_a = \gamma_a \cdot V \cdot A = \gamma_a \cdot V \cdot D^2 \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$W_a = 34,196 \text{ lb/min.}$$

Relación material/aire:

$$R_{a/m} = \frac{W_m}{W_a}$$

$$R_{a/m} = 8,86.$$

Pérdidas de presión:

a) Pérdida por elevación del material:

$$Tp1 = \frac{W_m}{W_a} \cdot \frac{L}{69.4} [inH_2O]$$

$$Tp1 = 0,382 \text{ inH}_2\text{O}.$$

b) Pérdida en tramo horizontal:

$$Tph = F_d \cdot R \cdot H \cdot \frac{1}{69,4} [inH_2O]$$

$$Tph = 0,153 \text{ inH}_2\text{O}.$$

c) Pérdidas por aceleración del material:

$Tpa = R \cdot (vp)$, en donde

$$vp = \frac{V_m^2}{2g \cdot 69,4} [inH_2O]$$

$$vp = 3581,6 \text{ pie/min.}$$

Estas pérdidas son ocasionadas cada vez que el material deba ser acelerado nuevamente hasta la velocidad correspondiente de transporte.

d) Pérdidas en los codos:

$$Tp_{@90^\circ} = \pi \cdot F_d \cdot R \cdot vp[inH_2O]$$

$$vp = \frac{V_{mp}^2}{2g \cdot 69,4}$$

$$TP_{@ 90} = 0,022 \text{ inH}_2\text{O}.$$

La ACGIH indica entre sus tablas un valor de 0,022 in H₂O para el tipo de codos propuestos.

V_{mp} es la velocidad promedio del material en los codos.

Para codos de 90°, la velocidad del material disminuye en un 20% (4000 pie/min) según experiencias recomendadas por la práctica.

e) Pérdidas en el ciclón:

$$T_{pc} = F (vp) [inH_2O]$$

$$T_{pc} = 1,6 \text{ inH}_2\text{O}.$$

Donde F es le factor de diseño del ciclón, y se obtiene de las dimensiones del ciclón. El valor de la caída de presión para los ciclones está entre 20-40 mmdca (0,8-1,6 inH₂O), de acuerdo con lo especificado en el manual de ventilación industrial.

f) Pérdidas totales

$$P_t = T_{p1} + T_{ph} + T_{pa} + T_{p90} + T_{pc} + T_{pf}$$

$$P_t = 3,837 \text{ inH}_2\text{O}.$$

Potencia del ventilador:

$$BHP = \frac{Q \cdot P_t}{6,356 \cdot \eta}$$

$$BHP = \frac{61,8 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}} \cdot 3,837 \text{inH}_2\text{O}}{6,356 \cdot 0,6}$$

$$BHP = 62,5 \text{ hp.}$$

Donde:

Q = caudal de aire, el cual es 61,8 pie³/min.

η = eficiencia mecánica del ventilador, depende del fabricante, para cálculos en general se toma el valor de 60%.

B. Método de calculo de Engineering Equipment Users Association (E.E.U.A) :

Existen por lo menos dos modelos de equipo para la aspiración de material. En uno, la boquilla de aspiración se hunde en el polvo, y en el otro, lo recoge de un piso plano. Es especialmente útil para granos y a veces para carbón menudo, allí donde sólo se tiene acceso a la superficie del material.

Varios factores discernibles en la zona de transporte son comunes a todos los sistemas de transporte de polvos, y en particular:

1. La velocidad de aire de acarreo.
2. Las pérdidas de carga por rozamiento y las caídas de presión inducidas por los codos de la tubería, especialmente los de pequeño radio.

3. La presión de trabajo. Debe hallarse un equilibrio económico entre gastos de instalación y de explotación.

Esta metodología de cálculo está basada en datos y gráficos obtenidos en la práctica por la E.E.U.A., para este cálculo se utiliza valores para materiales similares.

Nomenclatura:

A = Área de la sección transversal de la tubería (m^2).

D = Diámetro interior de la tubería (m).

E_G = Energía necesaria para elevar el polvo ($kg \cdot m/min$).

F_1 = Constante para considerar las pérdidas en la zona de aceleración debidas a turbulencia, reaceleración de partículas en colisión con la pared, etc.

F_2 = Coeficiente de rozamiento para tubos rectos.

F_3 = Coeficiente de rozamiento para codos.

H = Elevación vertical (m).

L = Longitud de la tubería (m).

N = Números de codos en ángulo recto.

P_1 = Presión en el extremo de alta presión (kg/m^2).

P_2 = Presión en el extremo de baja presión (kg/m^2).

$(P_1 - P_2)$ = Diferencia de presión entre los extremos de la tubería transportadora (kg/m^2).

$(P_1 - P_2)_A$ = Diferencia de presión debida a la aceleración (kg/m^2).

$(P_1 - P_2)_C$ = Diferencia de presión debida al rozamiento en las paredes de la tubería (kg/m^2).

$(P_1 - P_2)_G$ = Diferencia de presión debida a la gravedad (kg/m^2).

V = Velocidad media del aire (m/s).

W = Caudal de aire (kg/min).

γ = Peso específico de la mezcla polvo/aire.

g = aceleración de la gravedad (m/s^2).

Necesidades de energía: la energía necesaria es la gastada en vencer las diversas resistencias que se oponen al flujo del polvo a través de la tubería transportadora.

$$CV = \frac{(P_1 - P_2) \cdot A \cdot V}{75}$$

$(P_1 - P_2)$ se evalúa como se indica en las subsecciones siguientes:

Resistencia al flujo: la diferencia de presión entre los extremos de la tubería transportadora es la suma de las caídas de presión ocasionadas por los componentes siguientes:

- Aceleración del polvo desde su estado de reposo.
- Rozamiento en la tubería.
- Cambios de dirección.

Además, es preciso tener en cuenta las fuerzas gravitacionales, que se examinan más adelante, además de los componentes recién mencionados.

Aceleración del polvo desde su estado de reposo:

$$(P_1 - P_2)_A = \frac{F_1}{2g} \cdot V_2^2 \cdot \gamma$$

Rozamiento en la tubería: las constantes de dicha formula permanecen como tales sólo para condiciones estrechamente restringidas y han de determinarse experimentalmente en grupos

para cada tipo de polvo, tamaño de partícula, velocidad de transporte, etc.

$$(P_1 - P_2)_C = \frac{F_2 \cdot LV^2 \gamma}{2Dg}$$

Cambios de dirección: los codos producen una resistencia adicional, y la pérdida en codos puede traducirse como función de la altura dinámica, por lo tanto:

$$P_c = F_3 \frac{V^2}{2g} \cdot \gamma \cdot N$$

F_3 probablemente varía con la razón entre radio de curvatura y diámetro de la tubería del modo convencional, pero es difícil medirlo con precisión.

Fuerzas gravitatorias: es posible que el polvo tenga que ser elevado durante su recorrido hasta el punto de descarga. Esto exigirá una cantidad neta de energía que puede expresarse con la formula:

$$E_G = WH$$

dado

$$E_G = (P_1 - P_2)_G A \cdot 60 \cdot V$$

$$(P_1 - P_2)_G = \gamma \cdot H$$

Resistencia total en la zona de transporte: los efectos totales de los componentes mencionados dan la resistencia total o la diferencia de presión en la zona de transporte. Esta diferencia de presión, junto con la debida tolerancia correspondiente a las fuerzas gravitacionales, puede expresarse como sigue:

$$P_1 - P_2 = \lambda \left\{ \frac{V^2}{2g} \left(F_1 + \frac{LF_2}{D} + F_3 N \right) + H \right\}$$

La velocidad de transporte no debe ser excesiva, por razones de economía de potencia, disminución del desgaste abrasivo de tuberías y, en algunos casos, para aminorar el deterioro del material causado por impactos.

El tamaño, densidad y forma de las partículas, y tal vez otros factores menos obvios afectan la mínima velocidad segura de transporte. No es susceptible de calcularse y el mejor método para determinarla es a partir de ensayos o por la comparación con la velocidad mínima de transporte de materiales similares. Al proyectar es conveniente usar una velocidad por lo menos 40% mayor que el valor conocido de la mínima velocidad (E.E.U.A., 1974). Anexo 6.4.

Cálculos:

$$P_1 - P_2 = 3500 \left\{ \frac{(24)^2}{2 \cdot 9,81} \left(2,5 + \frac{5(0,015)}{0,08} + 1,5 \cdot 2 \right) + 3 \right\}$$

$$(P_1 - P_2) = 33468 \text{ kgf/m}^2 = 47,6 \text{ psi.}$$

$$(14,7 - P_2) = 47,6 \text{ psi} \Rightarrow P_2 = -32,9 \text{ psi.}$$

$$P_2 = 2,3 \text{ bar.}$$

$$CV = \frac{33468 \cdot (0,0078) \cdot 24}{75} = 84,11 \text{ hp} \Rightarrow 62,72 \text{ kW}$$

Como resultado, se toma el valor de potencia mayor por seguridad para el diseño del sistema de transporte, resultado del método de la E.E.U.A. La potencia del ventilador o compresor necesaria para el transporte neumático es de 62,72 kW (84 hp), para lograr una diferencia de presión de 328,2 kPa (3,282); estos valores necesarios para recolectar 35 kg de granalla en 20 minutos, se selecciona el equipo por medio de las tablas de los fabricantes en la cámara de granallado.

Con los valores de carga de material a manejar de 106 kg/hora (3,89 lb/min) y peso específico de la granalla de 3500 kg/m³ (218 lb/pie³), se selecciona de los catálogos el sistema de aspiración de la Société Appareils Pneumatiques Electriques (SAPE) modelo TETE AC480 1V de 4 bars o similar, el cual, trabaja con los rangos de operación cercanos a las calculados (Anexo 6.5).



Figura 6.10
Equipo neumático de recolección de granallas
(SAPE)

CONCLUSIONES.

- Las dimensiones de la cámara de granallado cumple con el espacio libre de manipulación y trabajo, establecidos en la norma ANSI, para la seguridad del operador y la protección de paredes y puertas.
- Las dimensiones y tipo de puertas seleccionado se basa en la pieza de mayor tamaño que se trabaja en la cámara, por tal motivo se disminuye el daño ocasionado a éstas cuando se manipulan las piezas de trabajo en la cámara de granallado.
- Con un caudal volumétrico de $5.38 \text{ m}^3/\text{s}$ por el método de velocidad por área y añadiendo un factor de seguridad de 24% para los cálculos, se asegura que el sistema de ventilación extrae cualquier partícula resultante del proceso de limpieza que este suspendida dentro del ambiente de la cámara, evitando problemas de contaminación y disminución de los niveles de iluminancia.
- La disposición y diseño de la ductería del sistema de ventilación sigue con los lineamientos recomendados en el manual de Ventilación Industrial de la ACGHI.
- Se garantiza el filtrado del aire contaminado para este tipo de trabajo, el cual es realizado por medio de un colector de

mangas, por ser el equipo que mejor se adapta a las características del proceso de limpieza por chorro de abrasivo. El colector de mangas es el equipo que ofrece una mayor eficiencia de filtrado de partículas, disminuye el riesgo de contaminación ambiental y un menor precio de adquisición.

- El ventilador trabaja en los valores de diseño del sistema de ventilación por extracción, éste se selecciona de acuerdo con el cálculo de la caída de presión dinámica tomando un factor de seguridad al diseño de los conductos y velocidad del aire sugeridos en la normativa nacional e internacional.
- Los resultados del sistema de iluminación para la cámara de granallado indican 14 luminarias del tipo fluorescentes (T8) de tres lámparas y están dispuestas de acuerdo a la zona de granallado de las piezas, las luminarias seleccionadas deben garantizar un nivel de 1100 lux establecidos en la norma COVENIN y ANSI.
- La acumulación de la granalla usada se realiza por medio del barrido hasta la zanja ubicada en el interior de la cámara, para no aumentar las necesidades de potencia del equipo neumático que se traducen en un mayor costo del equipo, de energía, etc.
- El sistema de transporte neumático por succión cumple con los requerimientos de un turno (4 horas) de trabajo en la cámara

por ser calculado para una jornada completa y para el caso más crítico de pieza a ser limpiadas como factor de seguridad, es decir, el factor de seguridad usado para el cálculo de la carga a transportar es de 50%.

- El equipo necesario para el transporte del material abrasivo debe crear una diferencia de presión de 328,2 kPa (47,6 psi) según lo indicó el método de cálculo de la E.E.U.A. y una potencia de 84 hp.
- El costo del equipo mecánico es de 30.768.500 bolívares para el colector de polvo y 3.231.639 bolívares el ventilador calculado a la tasa de cambio de Bs. 694,25 por US\$, los costos de las obras civiles dependen de la División de Proyectos Civiles de la C.A. Metro de Caracas.

RECOMENDACIONES.

Equipo del operador

- El operador debe verificar que la braga, guantes y polainas de trabajo estén en buen estado.
- El operador debe usar botas y guantes de corte alto.
- Se debe realizar un plan de mantenimiento de los equipos que se involucran en el proceso.
- Deben existir trampas de agua y deshumidificadores en las vías neumáticas, además de un filtro y detector de CO₂ en la línea de aire del casco del operador.
- Se debe realizar mantenimiento al filtro aire y a las mangueras del casco del operador por lo menos cada tres meses.
- Adiestrar correctamente al personal que opera en la cámara en el uso de los equipos y en normas Higiene y Seguridad Industrial.
- El operador debe limpiar el equipo de protección después de cada jornada de trabajo.

RECOMENDACIONES

- La boquilla de suministro debe poseer un dispositivo de seguridad que elimine la electricidad estática generada por fricción entre las granallas y la boquilla.

Cámara de granallado

- Debe existir una señal en el exterior e interior de la cámara que avise a los operarios de la cámara y áreas cercanas que se está realizando la limpieza por chorro de granallas.
- Se deben cambiar los visores de seguridad cuando estos estén rayados y opacos.
- Se debe supervisar al operador por los visores de seguridad existentes en las puertas cada 15-20 minutos.
- Debe construirse un acceso al techo de la cámara para realizar el mantenimiento de la tubería de ventilación.
- El operador no debe dirigir el chorro de abrasivos contra las puertas, luminarias o paredes.
- El operador debe tener cuidado de no golpear las puertas al trasladar las piezas en la cámara.
- Los puestos de trabajo deben ubicarse de manera tal que la pieza no tenga que ser rotada para realizarles la limpieza.

RECOMENDACIONES

- Se debe mantener en buen estado las baldosas de goma que recubre interiormente la cámara para proteger la integridad física del operador, además de aumentar la vida útil de las puertas y paredes.
- Se debe reubicar el área de lavado de manera que la humedad no afecte las propiedades de la granalla o los equipos involucrados.
- Se deben mantener todas las luminarias en funcionamiento para garantizar el nivel de iluminación adecuado durante el trabajo.

Sistema de ventilación de la cámara de granallado

- No debe realizarse bajo ningún concepto la operación de limpieza por chorro de granallas con las puertas abiertas, sea la de acceso, salida o la de emergencia.
- Se debe verificar las presiones en distintos puntos de la tubería de extracción para asegurar su funcionamiento correcto.
- Se debe verificar la diferencia de presión del colector de mangas la que indica el mantenimiento y cambio de mangas de filtrado.

RECOMENDACIONES

- Se debe desarrollar un plan de mantenimiento, limpieza de filtros a todos los equipos involucrados en el sistema de ventilación como lo son: colector de polvo, ventilador, compresor, etc.

Sistema de recolección de la granalla

- Se debe recolectar la granalla utilizada después de cada jornada de trabajo para evitar la acumulación y posterior degradación de la misma.
- Se debe mantener tapada la tolva de la máquina dispensadora aire/abrasivo para evitar que la humedad afecte las propiedades de la misma, además de colocar un tamiz o cedazo adecuado para la granalla.
- Se debe realizar una limpieza periódica del equipo de aspiración y del ciclón.
- No se puede introducir al equipo de aspiración otro material de características distintas a la granalla metálica para ser transportado como lo son: desperdicios, colillas de cigarrillos, tuercas, tornillos, etc. Debido que el equipo va trabajar en otro rango de presiones para el cual no fue calculado.

BIBLIOGRAFÍA.

- Aliven. (2001). [On-line].
Disponible en: <http://www.alivianos.com>
- American National Standard Institute. "Abrasive blasting operations, ventilation and safe practices". Norma ANSI/ASC Z9.4, 1985.
- AMÉZQUITA Z., Uxmal. (1993). "Método y Aplicación: ventilación exhaustiva localizada". Caracas, Venezuela: en imprenta.
- AMÉZQUITA Z., Uxmal y Villegas, E. (1994). "Diseño de una cámara de sandblasting con sus sistemas auxiliares". Tesis de grado, U.C.V., Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, Caracas.
- AVALONE, Eugene y otros. "Marks, Manual del Ingeniero Mecánico". (9 ed). Editorial Mc. Graw Hill.
- Bandas Transportadoras. (2001). [On-line].
Disponible en: <http://www.cbmbandas.com>
- BENNETT, Jim. "Abrasive air blast cleaning". Publicación Internacional, s/f.
- CARRANZA, Emilio. "Luminotecnia y sus aplicaciones". Editorial Diana, México, 1981.

- CHINTEMI T, Cristóbal. (1987). "Diseño y construcción de una máquina con chorro de arena con extracción reciclada". Tesis de grado, U.C.V., Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, Caracas.
- CLEMCO INC. "Clemco Abrasive Blast Equipment and Selection Guide". Julio 1991.
- Consejo Interamericano de Seguridad. "Polvos, gases y vapores en la industria". Tomo 46, ejemplar N° 2, 1988.
- Consejo Interamericano de Seguridad. "Limpieza con chorro de abrasivo". Tomo 45, ejemplar N° 12, 1983.
- Crouse-Hinds. (1994). "Electrical construction materials". Catálogo de productos. Septiembre, 1994.
- Engineering Equipment Users Association (E.E.U.A). (1974). "Transporte neumático de materiales pulverulentos". Barcelona, España: Labor, S.A.
- Gaceta Oficial de la República de Venezuela. Ley Orgánica de Prevención Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo y su Reglamento Parcial. (1992)., 35.020. Agosto 17, 1992.
- G.E. Lighting. (1995). "Spectrum". (22^a ed).

- HERNÁNDEZ, Ángel. (1999). "Optimización de almacenamiento y transporte de una planta productora de alimentos para animales". Tesis de grado, U.C.V., Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, Caracas.
- HERNÁNDEZ S, Larry. (1991). "Diseño de un transporte neumático para virutas de papel". Tesis de grado U.C.V., Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, Caracas.
- KRICK E, V. (1974). "Introducción a la ingeniería y al diseño" (2^a ed), México: Limusa.
- MILANI MISTIERI, Rodolfo. (1985). "Diseño para nuestra realidad". Caracas, Venezuela: Equinoccio.
- Norma Venezolana COVENIN 2249-93. "Iluminancias en tareas y áreas de trabajo", Caracas, Fondonorma, 1993.
- Norma Venezolana COVENIN 2250-90. "Ventilación de los lugares de trabajo", Caracas, Fondonorma, 1990.
- Norma Venezolana COVENIN 199-79. "Vidrios de seguridad", Caracas, Fondonorma, 1979.
- PAREDES, Bolívar y Ugheto, N. (1998). "Estudio y diseño de un sistema de transporte de materia a granel o paquetería". Tesis de grado, U.C.V. , Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, Caracas.

- PHILIPS. (1996). "Iluminación". Catálogo de productos.
- PRODUCTOS CLEMCO. (2001). [On-line].
Disponible en: <http://www.clemcoindustries.com>.
- TARGHETTA A, Luis. (1970). "Transporte y almacenamiento de materias primas en la industria básica". Madrid, España: Blume.
- TIPOS DE PUERTAS. (2001). [On-line].
Disponible en: <http://www.bmil.com>.
<http://www.mahaneq.com>.
- WHESTINGHOUSE Electric Corporation. (1976). "Lighting Handbook". Madrid, España: Dossat.