

**Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Mecánica**

Trabajo de Diploma

TITULO

PROPUESTA DE DISEÑO DEL SISTEMA EXTRACTOR DE MATERIAL PARTICULADO EN LA PLANTA DE AZULEJOS PARA LA EMPRESA CERÁMICA BLANCA DE HOLGUÍN.

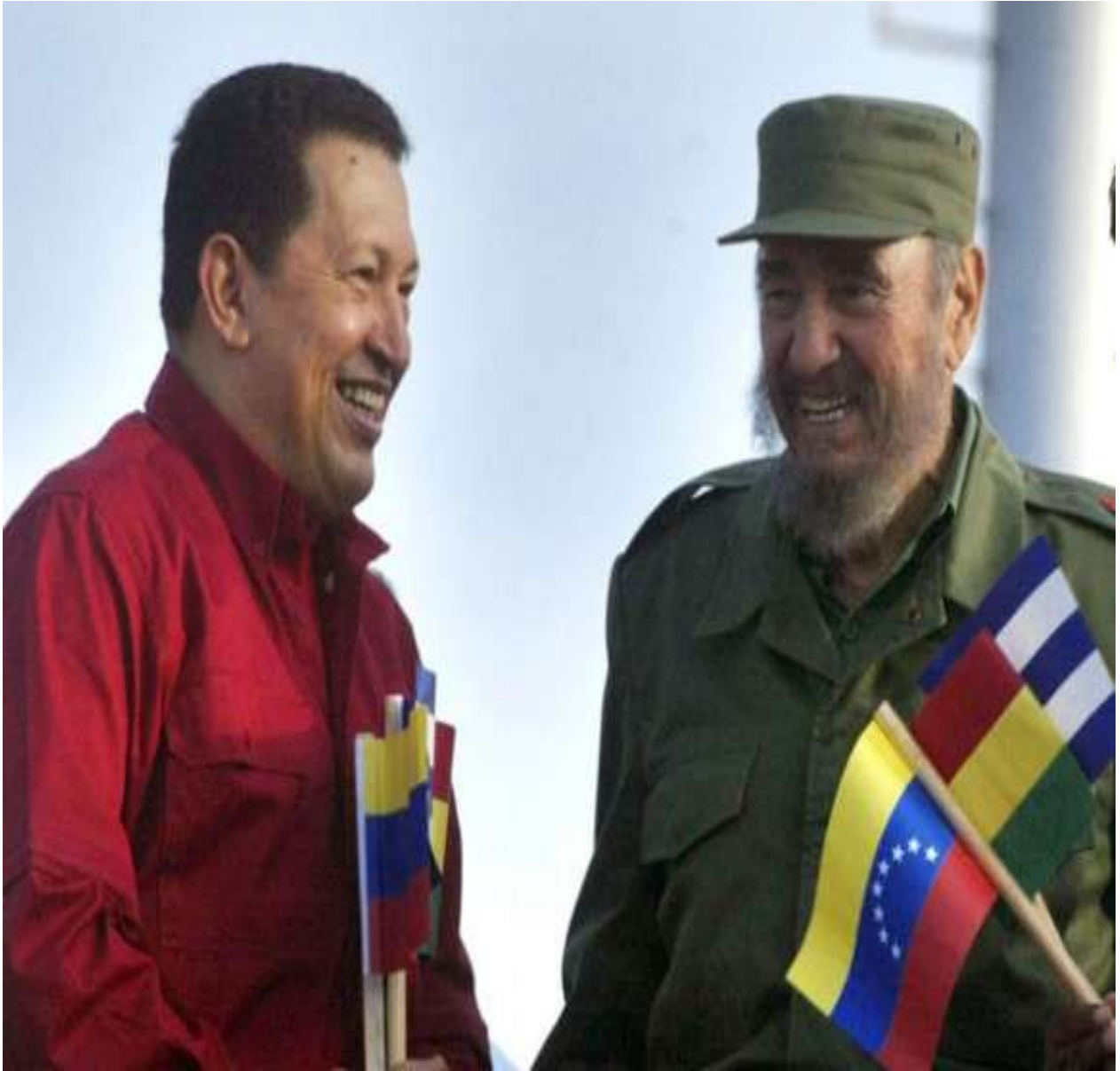
Autor: Yenier Vecino Expósito

**Tutores: Ms.C Ing. Borge A. Díaz Suárez
Ing. Alexis Yunior Zaldívar**



**HOLGUÍN
CRD 2013-2014**

PENSAMIENTO



El intercambio desigual, el proteccionismo y la deuda externa agreden la ecología y propician la destrucción del medio ambiente. Fidel Castro

DEDICATORIA

- ❖ *Dedico este trabajo de diploma a mi madre Claudis Cruz Expósito Batista y a mi padre Ramiro Vecino Sánchez, por brindarme su apoyo en todo momento. Además supieron inculcarme la importancia del sacrificio para lograr cualquier meta que se desee en la vida.*
- ❖ *A mi hermana Yelena Vecino Expósito por brindarme siempre su apoyo.*
- ❖ *A mis abuelos y familiares por haberme apoyado en cada momento.*
- ❖ *A mi tía Elsida Expósito Batista por brindarme su cariño y disposición.*
- ❖ *A mis tutores por permitirme realizar este trabajo bajo su tutoría y dedicarme el tiempo necesario.*
- ❖ *A mis amigos por comprenderme y apoyarme en cada momento, especialmente Alexander del Toro, José Manuel Salerno, Alejandro Velázquez, Oniel Casa, Guillermo, Manuel Meléndez, Víctor.*
- ❖ *A mis compañeros que estuvieron presente durante estos años.*
- ❖ *En general a todas aquellas personas que contribuyeron a mi formación durante estos años y me apoyaron en la realización de este trabajo.*

AGRADECIMIENTOS

- ❖ *Agradezco a mis padres Claudis Cruz Expósito Batista y Ramiro Vecino Sánchez por haberme dado la posibilidad de realizar un sueño, a ellos mi eterno agradecimiento.*
- ❖ *A mi novia Idelmis Ricardo.*
- ❖ *A mi suegra Georgina.*
- ❖ *A mi tutor Borge A. Díaz Suárez por el tiempo que me dedicó durante este período.*
- ❖ *A mi tutor Alexis Yunior Zaldívar.*
- ❖ *A mi profesor Ernesto Rodríguez Machín.*
- ❖ *Al ingeniero Wilson Moro Muñoz.*
- ❖ *A mis amigos por comprenderme y apoyarme en cada momento, especialmente Alexander del Toro, José Manuel Salermo, Alejandro Velázquez, Oniel Casa, Guillermo, Manuel Meléndez, Víctor, Dixon Sarmiento.*
- ❖ *A mis compañeros que me brindaron su apoyo incondicionalmente en cada momento.*

RESUMEN

En el presente trabajo se expone el diseño del sistema extractor de polvo en la Empresa Cerámica Blanca de Holguín José Luis Tassende, perteneciente al grupo industrial de la construcción (GEICON), subordinado al Ministerio de la Construcción, es una de las tres empresas que a nivel de nacional produce Muebles sanitarios y Azulejos cerámicos (revestimiento). Esta idea surge como un interés de ingenieros y personal de salud de la institución, donde se requieren mejores condiciones de trabajo para los obreros que operan en estas zonas y se ven afectados por diversas enfermedades respiratorias, además de afectar la calidad del producto. Se demuestra la gran importancia que revierte el seguimiento para lograr mayor eficiencia en el empleo de los sistemas de ventilación o extracción de polvos industriales. Se realiza un análisis de la variante para permitir lograr un diseño de bajo costo, que sea capaz de garantizar las exigencias funcionales y de fabricación para las condiciones concretas que fueron creados y usados en nuestro país estos equipos.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

SUMMARY

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	9
CAPITULO 1. Marco Teórico Conceptual.....	13
1.1 Descripción de la empresa.....	13
1.2 Estudio de las principales características de las partículas arrastradas por los gases...15	15
1.2.1 Caracterización de las materias primas.....	15
1.3 Caracterización del transporte neumático de sólidos en suspensión.....	19
1.3.1 Velocidades del gas y las partículas.....	21
1.3.2 Caída de presión.....	22
1.4 Transporte en fase diluida.....	23
1.4.1 Velocidad de bloqueo en transporte vertical en fase diluida.....	24
1.4.2 Velocidad de ruptura en transporte horizontal en fase diluida.....	26
1.5 Diseño de transporte en fase diluida.....	28
1.5.1 Velocidad del gas.....	28
1.5.2 Caída de presión.....	29
1.6 Clasificación de los sistemas de transporte neumático.....	31
1.6.1 Sistemas de presión positiva.....	32
1.6.2 Sistemas de presión negativa.....	32
1.6.3 Sistemas combinados.....	33
1.7 Transporte en fase densa.....	34
1.8 Estudio de algunas propiedades físicas del particulado necesarias para el diseño de los equipos separadores y de manipulación posterior del particulado extraído.....	36
1.9 Importancia de un sistema de despolvado.....	41
1.10 Tipos de colectores de polvo.....	42
1.10.1 Por su principio de operación.....	42
1.10.2 Por su principio de aplicación.....	47
1.10.3 Por su principio de filtración.....	48
1.10.4 Por la presión en el sistema.....	48
1.11 Tipos de filtros de mangas.....	50
1.11.1 Por su secuencia de limpieza.....	54
1.12 Componentes de un sistema colector de mangas.....	55

CAPITULO 2.....	62
2.1Diseño de un sistema colector de polvo en base a las consideraciones de funcionamiento de la planta.....	62
2.2Cantidad de aire requerido de acuerdo al equipo a desempolvar.....	63
2.3Medidas de flujo de aire.....	64
2.4Campana de captura.....	66
2.5Diseño de ductos.....	69
2.5.1Principios de flujo de aire.....	69
2.5.2Cambios de presión en el sistema.....	70
2.5.3Pérdidas en ductos.....	71
2.6Colector de polvo.....	75
2.6.1Velocidad de filtración (Relación aire-tela).....	76
2.6.2Criterio de selección para la tela de filtrado.....	77
2.6.3Dimensionamiento de las mangas.....	78
2.6.4Número de mangas por columna.....	79
2.6.5Canastillas.....	80
2.6.6Fijación de mangas.....	80
2.6.7Venturis.....	81
2.6.8Tolva de descarga.....	81
2.6.9Transportador de Gusano sin fin.....	82
2.6.10Válvulas de salida.....	85
2.6.11cámara limpia.....	86
2.7Pérdidas en el filtro de mangas.....	86
2.8Selección del ventilador.....	88
2.9Valoración Económica.....	90
CONCLUSIONES.....	91
RECOMENDACIONES.....	92
BIBLIOGRAFÍA.....	93
ANEXOS.....	95

INTRODUCCIÓN

La implementación de las buenas prácticas, las legislaciones y las reglamentaciones basadas en el uso seguro y responsable son necesarias para proveer a los trabajadores de un medio ambiente seguro y aceptable para la protección de la salud y la integridad física de aquellos que trabajan en las industrias cerámicas. Casi cualquier actividad industrial puede perjudicar la salud de los trabajadores y afectar el medio ambiente. En todas las ramas industriales se requieren prácticas laborales adecuadas (que pueden ir más allá del mero cumplimiento de la ley) para eliminar situaciones y actividades potencialmente peligrosas además de crear ambientes de trabajo seguros y sanos. La protección a la salud es tema principal que debe ser atendido por lo que se deben hacer todos los esfuerzos necesarios respaldando este objetivo.

El control del polvo es un asunto de responsabilidad y de sentido común. El objetivo común debe estar dirigido a encarar los retos que la salud y seguridad claman, con el fin de eliminar las enfermedades industriales y asegurar un medio ambiente de trabajo. Todos estos esfuerzos en cadena se deben mantener como una de las principales prioridades.

La empresa de Cerámica Blanca de Holguín ubicada en la carretera central vía a Bayamo Km 777, es una de las tres empresas que a nivel de país produce muebles sanitarios y azulejos cerámicos. En el proceso de producción de los azulejos se emplean material primas como carbonato de calcio, feldespato sódico, arcillas bayamo, etc. El proceso de producción del azulejo comienza con la selección de las materias primas correctas según las características finales que se quieran obtener.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

La selección de las materias primas es un factor determinante para garantizar la calidad del producto final, posteriormente existe un pretratamiento previo de las materias primas principalmente en arcillas como el envejecimiento o exposición a los agentes atmosféricos (aire, lluvia...para que pierda cualquier tipo de reactividad no deseada), además de una homogeneización, trituración o reducción de tamaño con rompedores de rodillos dentados y almacenamiento. En particular se hace referencia a la empresa de Cerámica Blanca de Holguín, que cuenta en su banco de problemas con el siguiente:

Problema Científico: ¿Cómo disminuir el impacto ambiental producido por las partículas de polvo que se utilizan para conformar los azulejos en la Empresa de Cerámica Blanca de Holguín?

Objeto de Estudio: Métodos de transporte neumático para la captación de partículas de polvo.

Campo: Sistema de transporte neumático para partículas de polvo.

Hipótesis: Si se diseña un sistema extractor de polvo, adaptado a las condiciones concretas de nuestro país, se pueden disminuir las afectaciones a la salud y al medio ambiente así como el aumento de la calidad del producto en la empresa Cerámica Blanca de Holguín.

Objetivo general: Proponer el diseño de un sistema extractor de polvo adecuado que garantice la disminución de afectaciones al medio ambiente y mejoras en la salud de los trabajadores.

Tareas de la investigación:

- Recopilar y estudiar la mayor cantidad posible de bibliografía e información sobre el tema tratado.
- Determinar las características del particulado
- Diseño del sistema extractor de polvo.
- Evaluar económicamente la variante propuesta.
- Redactar el Informe Final.

Resultados esperados:

Disminuir el impacto ambiental producido por las partículas, elaborando el diseño de un sistema extractor de polvo que garantice la disminución de las afectaciones a los trabajadores así como mejoras en la calidad del producto en la empresa.

Métodos de investigación:

- *Métodos teóricos*

Estos posibilitan la interpretación del marco conceptual recopilado y al utilizarse en el desarrollo de las teorías crean las condiciones para ir más allá de las características del fenómeno de la realidad, explicar los hechos y profundizar en la esencia y cualidades fundamentales de los procesos no observables directamente, permiten el análisis y la valoración de los datos obtenidos sobre el tema.

- ✓ *Sistémico – Estructural funcional:* Son procesos cognoscitivos que cumplen funciones muy importantes en la investigación científica. La realidad se sintetiza haciendo un análisis estructural de los elementos de la situación problemática, cómo caracterizar a un sistema extractor de polvo para su desarrollo en nuestro país. Se relacionan los elementos entre sí y se vinculan con la situación problemática. A su vez, se estructura sobre la base de los resultados dados previamente a la síntesis realizada.

La investigación se utilizará para la caracterización del sistema extractor de polvo, objeto y campo de investigación, así como el procesamiento crítico de la información obtenida de la literatura consultada.

- ✓ *Histórico – Lógico:* Lo histórico estudia la trayectoria real de los fenómenos y acontecimientos en el transcurso de su evolución. La lógica investiga las leyes generales del funcionamiento y desarrollo de los fenómenos. Se utilizará para el análisis de las tendencias y la evolución que permitan realizar la caracterización del tema que se aborda. Posibilita la búsqueda de los argumentos que antecedieron el problema científico, así como las regularidades y tendencias del objeto de estudio.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

- ✓ Análisis-Síntesis: Se utilizará para determinar los factores claves que influyen en el fenómeno, interrelacionar los efectos presentados que constituyen explicaciones al problema, analizar los nexos internos y las dependencias recíprocas.
- *Métodos y procedimientos empíricos*

Estos métodos empíricos dan acceso directo a la realidad. Los métodos empíricos conllevan a toda una serie de procedimientos prácticos con el objeto y los medios de investigación que permiten revelar las características fundamentales y relaciones esenciales del objeto, que son accesibles a la contemplación sensorial. Los mismos representan un nivel en el proceso de investigación cuyo contenido procede fundamentalmente de la experiencia, donde es sometido a cierta elaboración racional expresado en un lenguaje determinado.

- ✓ Observación científica: Permite conocer la realidad mediante la percepción directa de los objetos y fenómenos.
- ✓ Entrevistas a expertos: Dirigidas a conocer información relevante de manera directa con los actores claves.
- ✓ Análisis documental (tesis, artículos, monografías, etc.): Se empleará para analizar aportes de investigaciones que se hayan realizado.

CAPITULO 1. Marco Teórico Conceptual.

1.1 Descripción de la empresa.

La Empresa Cerámica Blanca de Holguín se creó el 4 de julio de 1978 mediante resolución No178/78 del Ministerio de la Industria de Materiales de la Construcción. Se encuentra ubicada al sur de la zona urbana del municipio Holguín, en la carretera central vía a Bayamo Km 777. Perteneciente al grupo industrial de la construcción (GEICON), subordinado al Ministerio de la Construcción. Es una de las tres empresas que a nivel nacional produce muebles sanitarios y azulejos cerámicos (revestimiento). Desde el mes de diciembre del 2003 la empresa tiene aprobado mediante acuerdo No 5016 del Comité ejecutivo del Consejo de Ministros la aplicación del perfeccionamiento empresarial.

La empresa tiene como objeto empresarial aprobado por Resolución 503/04 del Ministerio de Economía y Planificación el siguiente:

Producir, transportar y comercializar de forma mayorista muebles sanitarios (incluyendo sus herrajes), accesorios sanitarios, adornos, vajillas, pisos especiales y murales cerámicos, feldespatos sódicos; todos ellos en moneda nacional y divisas.

- Producir o elaborar, transportar y comercializar de forma mayorista: revestimientos, listellos y rodapiés cerámicos en moneda nacional y divisas.
- Brindar servicios de postventa en moneda nacional y divisas.
- Comercializar de forma mayorista inventarios ociosos en moneda nacional.
- Comercializar de forma mayorista al Mercado de Artículos Industriales y Artesanales, adornos y vajillas de Cerámica Blanca y desechos de pavimentos y revestimientos cerámicos en moneda nacional.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

- Brindar servicios de montaje, reparación y mantenimiento a instalaciones y equipos industriales de materiales de construcción, de diagnóstico, reparación y mantenimiento de equipos y agregados, alquiler de equipos complementarios de construcción, transportación de carga y de sus trabajadores, de maquinado, de almacenes y locales, parqueo, asistencia técnica, asesoría y consultoría en la actividades de producción de Cerámica Blanca y almacenamiento y expendio de combustibles y lubricantes al Instituto Nacional de la Reserva Estatal y el Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias en el territorio, todos ellos en moneda nacional.
- Brindar servicios de recreación y gastronómicos asociados a este, y comercializar de forma minorista a sus trabajadores excedentes de productos agropecuarios procedentes del autoconsumo, todos ellos en moneda nacional.

Visión: Una empresa capaz de cubrir satisfactoriamente la parte que le corresponde de la creciente demanda de materiales de la cerámica en apoyo al programa de la vivienda y batalla de ideas. Los distingue la competitividad en el sector cerámico nacional, la calidad y el uso eficiente de la energía respaldados por la investigación y el desarrollo tecnológico y medioambiental.

Misión: Satisfacer las demandas nacionales de muebles sanitarios, revestimientos, cerámica artística, utilitaria y materias primas inherentes a este tipo de producción, contribuyendo al desarrollo económico social del país e incrementando nuestra presencia en el mercado nacional basado en la cultura de la eficiencia, eficacia y calidad; contando con trabajadores y ejecutivos satisfechos, unidos y alineados con la organización y en permanente mejoramiento e innovación tecnológica en función del cliente.

1.2 Estudio de las principales características de las partículas arrastradas por los gases.

Materiales Cerámicos

Los materiales cerámicos son compuestos químicos, más o menos complejos, en general contienen una combinación de elementos metálicos y no metálicos, conectados entre sí por enlaces iónicos y covalentes. Considerando la etimología de la palabra cerámica (“keramicos”= cosa quemada) puede deducirse entre otras de sus características generales que adquieren sus propiedades después de un tratamiento térmico a elevadas temperaturas. En cuanto a sus aplicaciones, van desde la fabricación de ladrillos y tejas hasta los imanes permanentes de los dispositivos electrónicos, los láser o las losetas que recubren los ingenios espaciales.

1.2.1 Caracterización de las materias primas.

Arcilla.

Es uno de los medios más baratos de producir objetos de uso cotidiano y una de las materias primas más utilizadas, en la actualidad para confeccionar ladrillos, vasijas, platos, objetos de arte, e incluso sarcófagos o instrumentos musicales, por ejemplo: la ocarina. También se utiliza en muchos procesos industriales como la producción de cemento, elaboración de papel y materiales refractarios. Está constituida por agregados de silicatos de aluminios hidratados, procedentes de la descomposición de minerales de aluminio. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, siendo blanca cuando es pura. Surge de la descomposición de rocas que contienen feldespato, originada en un proceso natural que dura decenas de miles de años.

Clasificación

Las arcillas se pueden clasificar en primarias y secundarias, según como se encuentran en la naturaleza. Las arcillas primarias se localizan en el mismo lugar en donde se formaron, es decir, no han sido transportadas por el agua o el viento. La única arcilla primaria conocida es el caolín, que tiene un grano más grueso y es menos plástico y en estado puro es casi blanco. El otro grupo es el de las arcillas secundarias, son las que han sido transportadas del lugar en que se originaron. El agua es el elemento más común que las ha transportado; también el viento y los glaciares lo han hecho. Estos tipos de arcillas son mucho más comunes y se componen de más elementos como: mica, hierro, cuarzo y otros minerales procedentes de diferentes fuentes.

Composición y propiedades

Las arcillas tienen propiedades que las han hecho muy útiles para el uso humano desde la antigüedad. Una de sus características más importantes es su plasticidad, que es diferente en cada tipo de arcilla. Se produce cuando se agrega una cantidad de agua determinada, con la que se hace moldeable para adquirir casi cualquier forma. También, es característico en la arcilla que al evaporarse el agua en el proceso de secado, la pieza se encoge. Las arcillas pueden resistir temperaturas altas sin mostrar cambios; es importante saber que cada tipo de arcilla tiene distintas temperaturas de cocción. De acuerdo a su tipo presentan porosidad; a menor temperatura de cocción, mayor porosidad y mayor absorción.

Propiedades físico-químicas

Las importantes aplicaciones industriales de este grupo de minerales radican en sus propiedades físico-químicas. Dichas propiedades derivan principalmente de:

- Su extremadamente pequeño tamaño de partícula.
- Su morfología laminar (filosilicatos).
- Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

Caolín

Se trata de un mineral muy importante desde el punto de vista industrial. Ha sido empleado desde la antigüedad en numerosos usos. En el siglo XVI adquirió gran fama entre la nobleza la porcelana fabricada a base de pastas cerámicas ricas en caolín. Entre los principales usos a los que se destina en la actualidad se encuentran: la fabricación de papel, vidrio, pinturas, plásticos, medicina y material eléctrico.

Aplicaciones

También es importante el uso del caolín en la fabricación de materiales cerámicos (porcelana, greis, loza sanitaria o de mesa, electrocerámica) y de refractarios (aislantes térmicos y cementos). Al igual que en el caso del papel las especificaciones requeridas para el uso de caolines en cerámica y refractarios son estrictas en cuanto a pureza y tamaño de grano.

Feldespato

Los feldespatos son un grupo de minerales formados por silicatos dobles de aluminio y de calcio, sodio, potasio, algunas veces de bario o mezclas de esas bases. Es de la familia de los tectosilicatos. Forman el grupo más importante de la corteza terrestre ya que constituyen el 60% de esta.

Características

Su estructura consiste en una base de silicio (Si^{4+}) en la que una parte ha sido sustituida isomórficamente por aluminio. Al desequilibrarse, las cargas se compensan con cationes metálicos (K^+ , Potasio, Na^+ Sodio y, Ca^{+2} Calcio). Todos los feldespatos son minerales duros, de peso específico comprendido entre 2,5 y 2,75g/cm³. Son de color blanco, de brillo vítreo o bien de colores muy claros.

Pueden ser monoclinicos o triclinicos. Su origen es petrográfico, muy abundante y formado a través de la consolidación de los magmas. Son muy alterables y se deterioran a través de un proceso llamado caolinización que se produce en ambientes húmedos y cargados de CO_2 .

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

El CO₂ se convierte en CO₃²⁻ que se combina con el potasio, calcio o sodio, formando carbonatos que, en el caso del calcio, se denomina calcita. Los silicatos dobles forman silicatos alumínicos hidratados, caolín. Junto con el cuarzo y la mica es un mineral constituyente del granito, siendo el responsable de la descomposición (meteorización) de este.

Función de los feldespatos en cerámica

1. El feldespato sódico principalmente actúa como fundente produciendo a una menor temperatura el producto, sobre todo en media-alta temperatura. En caso de baja temperatura es necesario reforzarlos con otros fundentes. Constituye el "cemento" entre las partículas de los demás componentes.
2. Disminuye en productos porosos el coeficiente de dilatación.

Es muy habitual introducir el feldespato a partir de rocas con alto contenido en feldespatos, como Cornish Stone, nefelina sienita, pegmatita y granito. Se suele sustituir el contenido de un esmalte en alta temperatura por nefelina sienita (feldespatoide). La proporción de feldespato en las pastas oscila entre 15 y 45 % en pastas de porcelanas de alta tensión. La ortosa y albita tienen en proporción 35% de ortosa y 65 % de albita un punto eutéctico que funde a la temperatura de 1063°C.

1.3 CARACTERIZACIÓN DEL TRANSPORTE NEUMÁTICO DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

Los sistemas de transporte neumático se utilizan ampliamente en la industria para transportar materiales secos, finos y a granel porque son extremadamente versátiles, adecuados y económicos para muchos procesos. El transporte neumático de sólidos se ha practicado por más de un siglo en el mundo y hoy se puede encontrar sistemas de este tipo en las más variadas industrias: la minería, industria del cemento y construcción, química y farmacéutica, plásticos, de alimentos, papel, vidrio, energía, etc. Por ejemplo, el transporte y descarga neumática de cemento, cal, azúcar, pellets plásticos en camiones a granel presurizados; sistemas de transporte e inyección neumática de concentrado de cobre seco a convertidores Teniente y sistemas similares para carbón pulverizado que alimentan calderas y hornos; sistemas de transporte neumático de fertilizantes, yeso, coke, cenizas, sal, alimentos, granos, aserrín, en plantas de procesos; sistemas de captación y transporte neumático de polvo; etc.

El objetivo principal de un sistema de transporte neumático es transportar materiales sólidos a granel desde un punto a otro por medio de un flujo de gas a presión, ya sea positiva o negativa, y a través de una cañería. Materiales particulados finos en el rango de los micrones hasta partículas de 20 mm se pueden transportar en forma horizontal y/o vertical, desde algunos metros hasta máximo dos kilómetros de distancia y con capacidades de hasta 1000 t/h a través de cañerías de hasta 500 mm de diámetro.

La principal ventaja del transporte neumático de sólidos a granel es que los sistemas son cerrados, y por tanto, no contaminantes. El material transportado se “encierra” totalmente dentro de la cañería, lo cual protege al producto del medio ambiente y viceversa (al medio ambiente del producto en caso de transportar materiales peligrosos, explosivos, tóxicos, biológicos, etc.).

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Además, son sistemas muy limpios, adecuados para muchos y variados procesos, flexibles para cambiar de dirección, requieren de un reducido espacio y son fáciles de automatizar.

Dentro de las desventajas es importante destacar que no todos los materiales particulados se pueden transportar neumáticamente a través de cañerías, sólo aquellos materiales secos, no cohesivos, de fácil escurrimiento libre por gravedad y relativamente finos. Materiales frágiles pueden sufrir de excesiva atrición y materiales abrasivos pueden causar desgaste prematuro en las cañerías y codos. Otras limitaciones del transporte neumático son el tamaño máximo de partícula, la capacidad máxima de transporte, la distancia a transportar y el mayor consumo de energía.

Las bajas velocidades de sólido resultantes implican que en transporte en fase densa, la degradación del producto por abrasión y la erosión de las cañerías no son grandes problemas al contrario del transporte neumático en fase diluida. En este apunte se tratarán las principales características del transporte, tanto en fase diluida como en fase densa, así como también los sistemas y equipos utilizados en ambos casos. El diseño de sistemas de fase diluida será tratado en detalle mientras que se hará un resumen del diseño de sistemas en fase densa.

Propiedad	Transporte en fase diluida	Transporte en fase densa
Velocidad de gas, m/s	20	1-5
Concentración de sólidos, % en volumen	<1	>30
$\frac{\Delta P}{L}$, mbar / m	< 5	>20

Tabla 2. Principales diferencias entre los transportes en fases diluida y densa.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
 www.uho.edu.cu

En esta sección se introducen algunas relaciones básicas que gobiernan el flujo de gas y partículas sólidas en una tubería.

1.3.1 Velocidades del gas y las partículas

Debemos ser cuidadosos al definir las velocidades del gas, de las partículas y la velocidad relativa entre el gas y las partículas, la velocidad de resbalamiento. Los términos utilizados en la literatura se definen a continuación:

$$v_{sg} \equiv \frac{\text{Caudal volumétrico de gas}}{\text{Sección transversal de cañería}} = \frac{q_g}{A} \quad (1)$$

$$v_{ss} \equiv \frac{\text{Caudal volumétrico de sólidos}}{\text{Sección transversal de cañería}} = \frac{q_s}{A}$$

La fracción del área transversal de la cañería disponible para el flujo del gas usualmente se asume igual a la fracción volumétrica ocupada por este, es decir, igual a la porosidad ε . La fracción del área para el flujo de sólidos es por lo tanto $(1 - \varepsilon)$.

Dado esto, las velocidades reales del gas y los sólidos son:

$$v_g = \frac{q_g}{\varepsilon \cdot A} \quad v_s = \frac{q_s}{(1 - \varepsilon) \cdot A} \quad (2 \text{ y } 3)$$

Estas están relacionadas con las velocidades superficiales a través de las ecuaciones:

$$v_g = \frac{v_{sg}}{\varepsilon} \quad (4)$$

$$v_s = \frac{v_{ss}}{(1 - \varepsilon)} \quad (5)$$

La velocidad relativa entre las partículas y el gas, denominada velocidad de resbalamiento, se define como:

$$v_{res} = v_g - v_s \quad (6)$$

En tramos verticales es común asumir que, en condiciones de flujo de fase diluida, la velocidad de resbalamiento es igual a la velocidad terminal de una partícula individual.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
 www.uho.edu.cu

A la relación entre los dos caudales máxicos se le denomina carga de sólidos y se expresa según:

$$\frac{w_s}{w_g} = \frac{v_s \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \rho_s}{v_g \cdot \varepsilon \cdot \rho_g} \quad (7)$$

1.3.2 Caída de presión

Para obtener la caída de presión a lo largo de la línea de transporte es necesario plantear el balance de energía mecánica para el sistema. Considere la sección diferencial de la tubería descrita en la figura 1, para este sistema el balance de cantidad de movimiento conduce a:

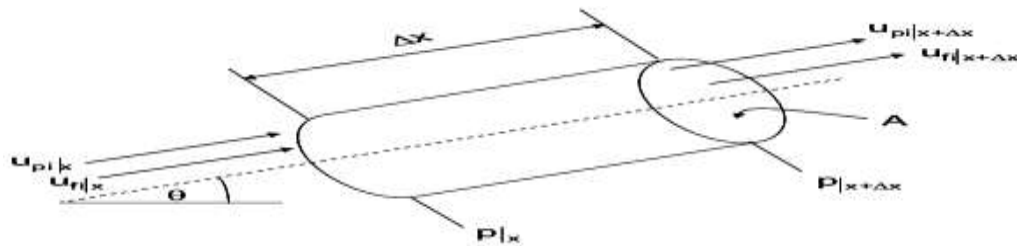


Fig. 1 Sección de una línea de transporte.

Haciendo un balance de energía mecánica en estado estacionario asumiendo densidad y porosidad constantes e integrándolo resulta:

$$P_1 - P_2 = \underbrace{\frac{1}{2} \varepsilon \rho_f u_{fi}^2}_{(1)} + \underbrace{\frac{1}{2} (1 - \varepsilon) \rho_p u_{pi}^2}_{(2)} + \underbrace{F_{fw} L}_{(3)} + \underbrace{F_{pw} L}_{(4)} + \underbrace{(1 - \varepsilon) L \rho_p g \text{ sen}(\theta)}_{(5)} + \underbrace{\varepsilon L \rho_f g \text{ sen}(\theta)}_{(6)} = 0 \quad (8)$$

La ecuación general indica que la caída de presión en un tramo de línea recta que transporta sólidos está dada por los siguientes componentes:

1. Pérdida de carga por aceleración del gas.
2. Pérdida de carga por aceleración de los sólidos.
3. Pérdida de carga debido a la fricción del gas con la pared.
4. Pérdida de carga debido a la fricción de los sólidos con la pared.
5. Pérdida de carga por la energía potencial de los sólidos.
6. Pérdida de carga por la energía potencial del gas.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Algunos de estos términos deben ser omitidos en ciertas circunstancias. Si el gas y los sólidos ya están acelerados en la línea, entonces los primeros dos términos no deben tomarse en cuenta; si la tubería es horizontal los últimos dos términos se omiten. Las mayores dificultades están en determinar la fricción sólido-pared, y si la fricción gas-pared puede considerarse independiente de la presencia de sólidos; esto se analizará posteriormente.

1.4 Transporte en fase diluida

El transporte neumático de sólido particulado es ampliamente clasificado en dos regímenes de flujo: Flujo en fase diluida y flujo en fase densa.

El primero es el más conocido y se caracteriza por altas velocidades de gas (mayores a 20 m/s), bajas concentraciones de sólidos (menores a 1% en volumen) y bajas pérdidas de carga por unidad de longitud de cañería (típicamente, menores a 5 mbar/m).

El transporte neumático en fase diluida está limitado a cortas distancias, transporte de sólidos continuo a caudales menores a 10 ton/h y el único sistema capaz de operar bajo presiones negativas. Bajo estas condiciones, las partículas sólidas se comportan como si se encontraran completamente suspendidas en el gas en forma individual (se comportan como si se encontraran solas en el gas), y las fuerzas fluido-partícula predominan.

En el otro extremo se encuentra el flujo en fase densa, caracterizado por bajas velocidades de gas (1-5 m/s), altas concentraciones de sólidos (mayores a 30% en volumen) y grandes pérdidas de carga por unidad de longitud de cañería (usualmente mayores a 20 mbar/m). En el transporte en fase densa, las partículas no se encuentran completamente suspendidas y la interacción entre ellas es mucho mayor. El límite entre el transporte en fase densa y fase diluida no es marcado y aún no existe una definición universalmente aceptada de ambos tipos de transporte.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

En este trabajo, se utilizarán las velocidades de bloqueo y ruptura, para marcar el límite entre el transporte en fase diluida y en fase densa, en cañerías verticales y horizontales respectivamente. Estos conceptos se definen en las secciones siguientes considerando las relaciones entre la velocidad del gas, el caudal másico del sólido y la caída de presión por unidad de longitud, tanto en transporte vertical como horizontal.

1.4.1 Velocidad de bloqueo en transporte vertical en fase diluida

La relación general entre la velocidad del gas y el gradiente de presión $\Delta p/\Delta L$ para transporte en cañerías verticales se muestra en la figura 1.2. La línea AB representa las pérdidas de carga por fricción debido al gas (sin sólidos) en una cañería vertical.

La curva CDE es para un flujo de sólidos G_1 y la curva FG es para una mayor velocidad de alimentación G_2 . En el punto C la velocidad del gas es alta, la concentración de sólidos es baja y predomina la interacción fluido-pared.

A medida que la velocidad disminuye las pérdidas por fricción disminuyen, pero dado que la concentración de sólidos aumenta, la altura estática necesaria para sostener la masa de sólido aumenta. Si la velocidad del gas disminuye por debajo del punto D, el incremento de la altura estática pasa a ser más importante que la disminución de la fricción, por tanto $\Delta p/\Delta L$ aumenta.

En la región DE, la disminución de la velocidad del gas causa un rápido incremento de la concentración de sólidos y se llega a un punto en el cual el gas ya no puede sostener todo el sólido. En este punto se forma un lecho fluidizado en la cañería. Este fenómeno es conocido como “bloqueo” y usualmente conlleva grandes fluctuaciones de presión. La velocidad de bloqueo, v_b , es la velocidad más baja a la cual es posible operar en fase diluida para el caudal G_1 .

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Para un mayor caudal de sólidos, G_2 por ejemplo, la velocidad de bloqueo es mayor. La velocidad de bloqueo marca el límite entre transporte neumático en fase densa y fase diluida en cañerías verticales. Note que el fenómeno de bloqueo puede ser alcanzado ya sea disminuyendo la velocidad del gas para un dado caudal de sólidos o aumentando el caudal de sólidos manteniendo constante la velocidad del gas.

Teóricamente no es posible predecir las condiciones que estarán sometidas al fenómeno de bloqueo. Sin embargo, en la literatura existen varias correlaciones para predecir velocidades de bloqueo. Knowlton (1986) recomienda la correlación de Punwani (1976), que tiene en cuenta el considerable efecto de la densidad del gas. Esta correlación se presenta a continuación:

$$\frac{v_b}{\varepsilon_b} - v_b = \frac{G_s}{\rho_s(1 - \varepsilon_b)} \quad (9)$$

$$\rho_g^{0.77} = \frac{2250 \cdot D \cdot (\varepsilon_b^{-4.7} - 1)}{\left(\frac{v_b}{\varepsilon_b} - v_t\right)^2} \quad (10)$$

La ecuación representa la velocidad de sólidos en el bloqueo, en la cual se asumió que la velocidad de resbalamiento es igual a la velocidad terminal. Las ecuaciones se deben resolver simultáneamente para encontrar ε_b y V_b .

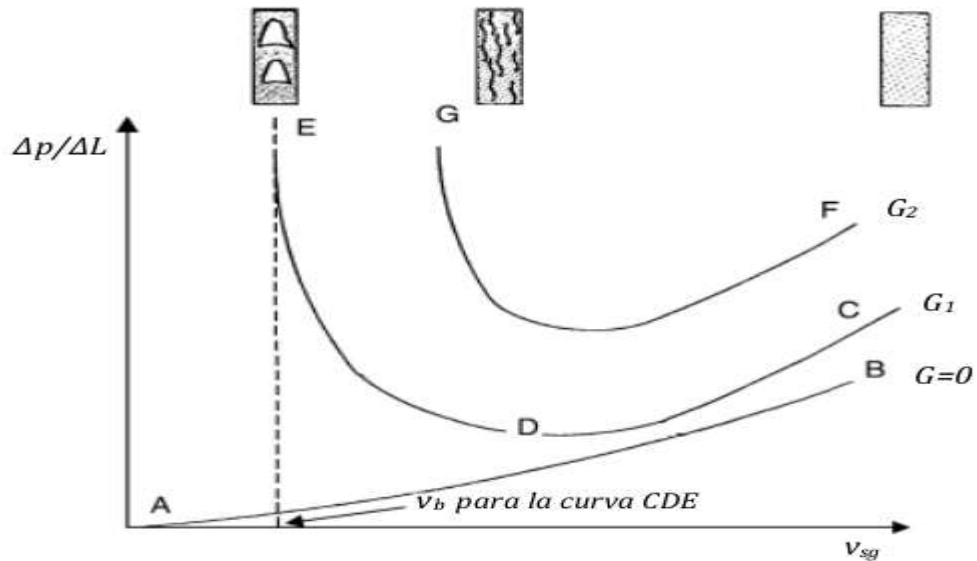


Fig. 1.2 Diagrama de fases en transporte neumático vertical.

1.4.2 Velocidad de ruptura en transporte horizontal en fase diluida

La dependencia general entre la velocidad del gas y el gradiente de presión $\Delta p/\Delta L$ para transporte en una cañería horizontal se muestra en la figura 1.3, en varios sentidos es similar a la correspondiente a transporte vertical.

La línea AB representa la curva obtenida cuando en la cañería solo circula gas; CDEF es para un caudal de sólidos G_1 y la curva GH para un caudal de sólidos mayor, G_2 .

En el punto C, la velocidad del gas es lo suficientemente alta como para llevar todo el sólido en una suspensión muy diluida. Las partículas sólidas son prevenidas de asentarse en las paredes de la cañería por los pequeños remolinos formados en el gas circulante.

Si la velocidad del gas disminuye mientras la alimentación de sólidos permanece constante, disminuye la fricción y $\Delta p/\Delta L$. Los sólidos se mueven más lentamente y la concentración de los mismos aumenta.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

En el punto D, la velocidad del gas es insuficiente para mantener los sólidos en suspensión y estos comienzan a depositarse en el fondo de la cañería. La velocidad del gas a la que esto ocurre se denomina *velocidad de ruptura*. Un descenso mayor en la velocidad del gas resulta en una rápida sedimentación de sólidos y un rápido incremento en $\Delta p/\Delta L$ ya que el área disponible para la circulación del gas es restringida por los sólidos sedimentados.

En la región EF algunos sólidos pueden moverse en fase densa a lo largo del fondo de la cañería mientras que otros viajan en fase diluida en la parte superior de la misma. La velocidad de ruptura marca el límite entre transporte en fase diluida y fase densa en transporte neumático horizontal.

Nuevamente, no es posible predecir teóricamente las condiciones bajo las cuales ocurrirá el fenómeno de ruptura. Sin embargo, en la literatura existen varias correlaciones para predecir la velocidad de ruptura.

La correlación de Rizk (1973), basada en un enfoque semi-teórico, tiene un error promedio de $\pm 50\%$ pero es relativamente fácil de utilizar. En su forma más clara se expresa como:

$$\frac{w_s}{\rho_g \cdot v_r \cdot A} = \left(\frac{1}{10^{(1440 \cdot d_p + 1.96)}} \right) \cdot \left(\frac{v_r}{\sqrt{g \cdot D}} \right)^{(1100 \cdot d_p + 2.5)} \quad (11)$$

v_r es la velocidad superficial del gas en condiciones de ruptura cuando el caudal másico de sólidos es w_s , el diámetro de la cañería es D y el tamaño de la partícula d_p . Las unidades son del SI.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Idealmente, estos sistemas operarían a una velocidad del gas apenas a la derecha del punto D en la figura 1.3. Sin embargo, en la práctica la velocidad de ruptura no se conoce con gran exactitud por lo que un diseño conservador lleva a trabajar a velocidades bien a la derecha del punto D con el consecuente aumento de las pérdidas por fricción.

Otro factor que implica cautela en la selección de la velocidad de diseño es el hecho de que la región cercana al punto D es inestable, por lo que una pequeña perturbación en el sistema podría resultar en la ruptura.

Si el sistema solo consiste en una cañería de ascenso, la velocidad de bloqueo se vuelve el criterio importante. Nuevamente, dado que la velocidad de bloqueo no puede ser predicha con gran seguridad, es necesario hacer un diseño conservador.

En sistemas que utilizan sopladores centrífugos, caracterizados por la disminución de la capacidad a elevadas presiones, el ahogo puede ser casi autoinducido. Por ejemplo, si una pequeña perturbación en el sistema produce un incremento en el caudal de sólido, el gradiente de presión en la cañería aumentará (figura 1.2).

Esto resulta en un aumento de la presión en la salida del compresor, lo que provoca una disminución del caudal volumétrico del gas. Menor cantidad de gas significa un mayor gradiente de presión y el sistema alcanza rápidamente la condición de bloqueo. Las cañerías se llenan de sólido y el sistema solo puede ser reiniciado mediante el drenado de los mismos. Teniendo en cuenta la incertidumbre en las correlaciones para la predicción de las velocidades de bloqueo y ruptura, se recomiendan factores de seguridad de 50% o mayores cuando se selecciona la velocidad operativa del gas.

1.5.2 Caída de presión.

La ecuación general de caída de presión es aplicable a cualquier mezcla gas-partículas en una cañería. Para hacer que la ecuación sea específica para el caso de transporte en fase diluida, es necesario encontrar expresiones para los términos 3 (fricción gas-pared) y 4 (fricción sólido-pared).

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

El transporte en fase diluida, usualmente, se considera que la fricción gas-pared es independiente de la presencia de sólidos, por lo que se pueden utilizar los factores de fricción empleados para gases (por ejemplo, factor de fricción de Fanning).

Existen en la literatura varias correlaciones para estimar la pérdida de carga debido a la fricción sólido-pared. En este apunte se observa la correlación modificada de Konno y Saito (1969) para tramos verticales y la correlación de Hinkle (1953) para tramos horizontales.

Para transporte vertical (Konno y Saito, 1969):

$$F_{ws} \cdot L = 0.057 \cdot G_s \cdot L \sqrt{\frac{g}{D}} \quad (12)$$

Para transporte horizontal (Hinkle, 1953):

$$F_{ws} \cdot L = \frac{3 \cdot \rho_g \cdot C_D \cdot L \cdot (1 - \varepsilon) \cdot (v_g - v_s)^2}{4 \cdot d_p} \quad (13)$$

Donde C_D es el coeficiente de arrastre. La ecuación general de caída de presión está relacionada con pérdidas de carga en tramos rectos de cañería, pero la pérdida de carga también está asociada a codos en los sistemas de cañería. En la siguiente sección se distinguirá como estimar el valor de las pérdidas de presión asociada a la presencia codos.

Codos.

Los codos complican el diseño de sistemas de transporte neumático en fase diluida y, a la hora de diseñar es mejor utilizar la menor cantidad de codos posible. Éstos incrementan la caída de presión y son los puntos más críticos respecto a la erosión y abrasión de las partículas.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Los sólidos que, normalmente, se encuentran en suspensión en tramos rectos horizontales o verticales, tienden a sedimentar en los codos debido a la fuerza centrífuga que actúa sobre las partículas cuando lo transitan. A razón de esto, las partículas se desaceleran y luego son re-suspendidas y re-aceleradas luego de transitar un codo, resultando en pérdidas de carga elevadas asociada a los codos.

Hay una mayor tendencia de las partículas a sedimentar en los codos que unen un tramo vertical descendente con un tramo horizontal, que en cualquier otra configuración. Si existe en el sistema este tipo de curvas, es posible que los sólidos permanezcan en el fondo de las cañerías con grandes distancias (después de haber atravesado el codo) antes de ser re-suspendidos. Por lo tanto, se recomienda que ese tipo de configuración sea evitado lo más posible en sistemas de transporte neumático en fase diluida.

En el pasado, los diseñadores de sistemas de transporte en fase diluida pensaban intuitivamente que utilizar codos de radio largo (con cambios graduales en la pendiente) reduciría la erosión e incrementaría la vida útil con respecto a los de 90°.

A pesar de la cantidad apreciable de investigación acerca de la pérdida de carga en curvas, no existe otro método confiable para predecir precisamente la caída de presión en curvas más que determinarla experimentalmente en las condiciones de operación esperadas. En la práctica, suele aproximarse mediante la asignación de una longitud equivalente de 7.5m de cañería vertical. En ausencia de correlaciones confiables para predecir la pérdida de carga en curvas, este método es probablemente tan fiable y conservador como cualquier otro.

1.6 Clasificación de los sistemas de transporte neumático.

Los sistemas de transporte neumático pueden ser clasificados de varias maneras. Entre ellos, la naturaleza de la presión del sistema es uno de los aspectos principales para la clasificación. En base a esto, hay tres tipos principales de sistemas de transporte, que se describen brevemente a continuación:

1.6.1 Sistemas de presión positiva.

En este tipo de sistema de transporte neumático, la presión absoluta del gas dentro de la tubería es siempre mayor que la atmosférica. Esta configuración es la más utilizada, sobre todo en sistemas de descarga múltiple, donde el material de transporte es recogido de un solo punto y entregado a varios equipos de almacenamiento. Esto ocurre ya que en este sistema solo se requiere la incorporación de una única válvula rotatoria, elemento de alto costo. Un sistema de presión positiva se muestra en la figura 1.4.

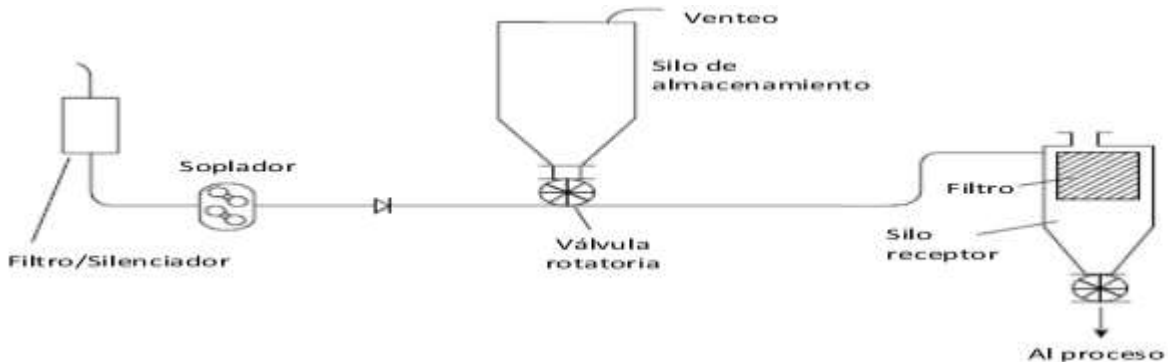


Fig. 1.4 Sistema de presión positiva

1.6.2 Sistemas de presión negativa.

En estos sistemas, también llamados de vacío, la presión absoluta del gas en la línea de transporte es menor que la atmosférica. Sobre todo en el transporte de productos tóxicos y de materiales peligrosos, un sistema de presión negativa puede ser la mejor opción, ya que este impide que el polvo escape de la cañería. En estos esquemas el polvo es alimentado libremente, mientras que requiere de una válvula rotatoria a la entrada de los equipos de descarga, por esta razón son ampliamente utilizados cuando se tienen múltiples equipos de alimentación y un único punto de descarga. Sin embargo, en los puntos de recepción de sólidos, debe colocarse un dispositivo de separación como un filtro o un ciclón. La principal desventaja de este sistema es que solo puede ser usado cuando las distancias de transporte son cortas. La figura 1.5 muestra un sistema de presión negativa.

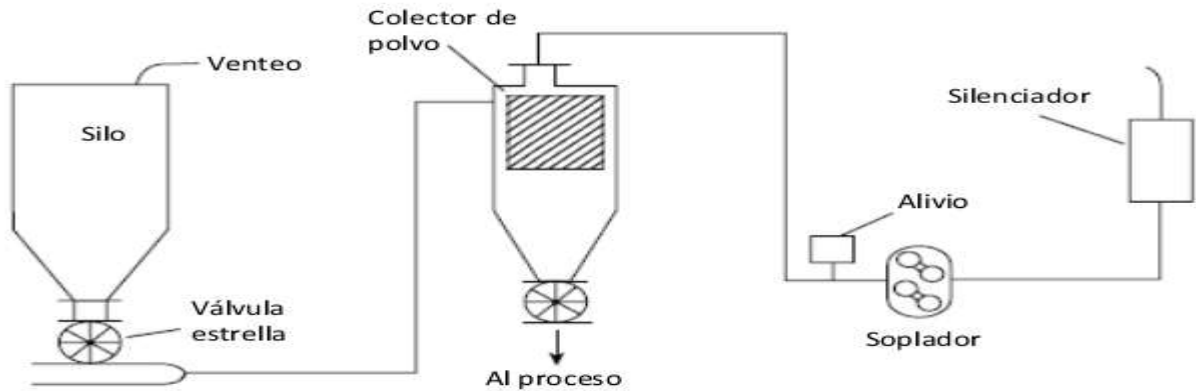


Fig.1.5 Sistema de presión negativa

1.6.3 Sistemas combinados.

Cuando se tienen varias fuentes y varios destinos conviene utilizar un sistema combinado de presión negativa y positiva (figura 1.6). Esta forma de operación combina las ventajas de ambos sistemas y solo requiere de una válvula rotatoria y un equipo de separación gas-sólido.

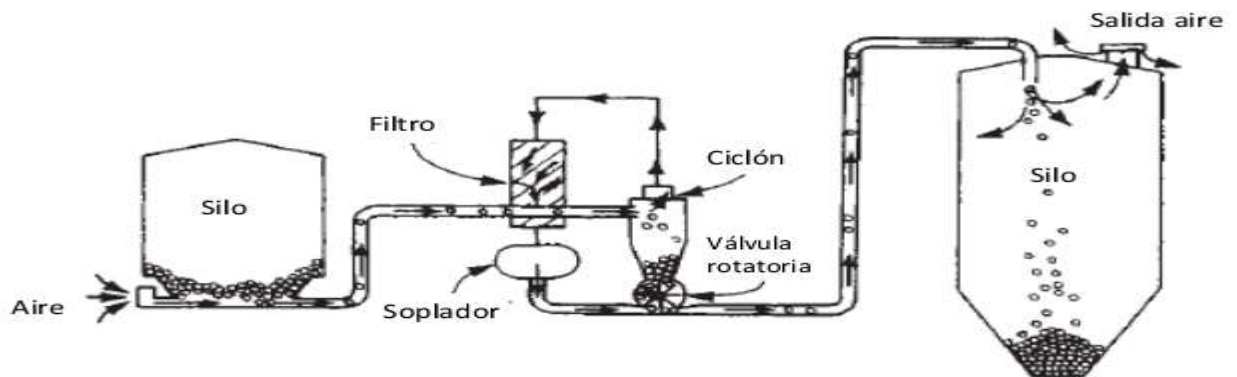


Fig. 1.6 Sistema combinado

1.7 Transporte en fase densa

Patrones de flujo.

Como se señaló anteriormente en la caracterización de los sistemas de transporte neumático, existen diversas maneras de definir el transporte en fase densa y del punto de transición entre fase diluida y fase densa. Para los fines de esta sección, se define como transporte en fase densa a la condición en la cual los sólidos son transportados de manera tal que no se encuentren completamente suspendidos en el gas. Así, el punto de transición entre transporte en fase diluida y fase densa es la ruptura en transporte horizontal y el bloqueo en transporte vertical.

Sin embargo, aún dentro del régimen de fase densa ocurren patrones diferentes tanto en transporte horizontal como vertical. Cada uno de estos patrones tiene características particulares, lo que implica relaciones particulares entre velocidad del gas, caudal de sólidos y la caída de presión. En la figura 1.7, por ejemplo, se identifican 5 patrones de flujo para transporte horizontal dentro de la zona de fase densa.

El patrón de flujo continuo en fase densa, en el cual los sólidos ocupan la cañería en su totalidad, es virtualmente una extrusión. El transporte en estas condiciones requiere presiones de gas muy elevadas y está limitado a cortas distancias en tramos rectos y a materiales granulados (que tienen alta permeabilidad).

El flujo discontinuo puede ser dividido en tres patrones bastante diferentes entre sí: Flujo intermitente en tapones, donde los tapones aislados de sólidos ocupan toda la cañería; Flujo en dunas, en el cual una capa de sólidos asentada en el fondo de la cañería se mueve a lo largo de la misma en forma de dunas; flujo tapón, es un híbrido entre flujo intermitente en tapones y flujo en dunas; las dunas llenan la cañería completamente pero no se producen tapones aislados. Debe notarse, primeramente, que no todos los sólidos presentan todos estos patrones de flujo y, en segundo lugar, que a lo largo de una misma cañería es posible encontrar distintos patrones de flujo.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Las principales ventajas del transporte en fase densa son las bajas velocidades de gas requeridas y las bajas velocidades de sólido que se obtienen. Un bajo caudal volumétrico de gas generalmente significa bajo requerimiento de energía por kilogramo de sólidos transportado así como también cañerías menores y menor trabajo de separación sólido-gas.

Efectivamente, en algunos casos, dado que los sólidos no se encuentran suspendidos en el gas, es posible operar sin la necesidad de contar con un filtro en el extremo receptor de la cañería. Bajas velocidades del sólido implican que los materiales abrasivos y frágiles pueden ser transportados sin gran erosión de la cañería ni degradación del producto.

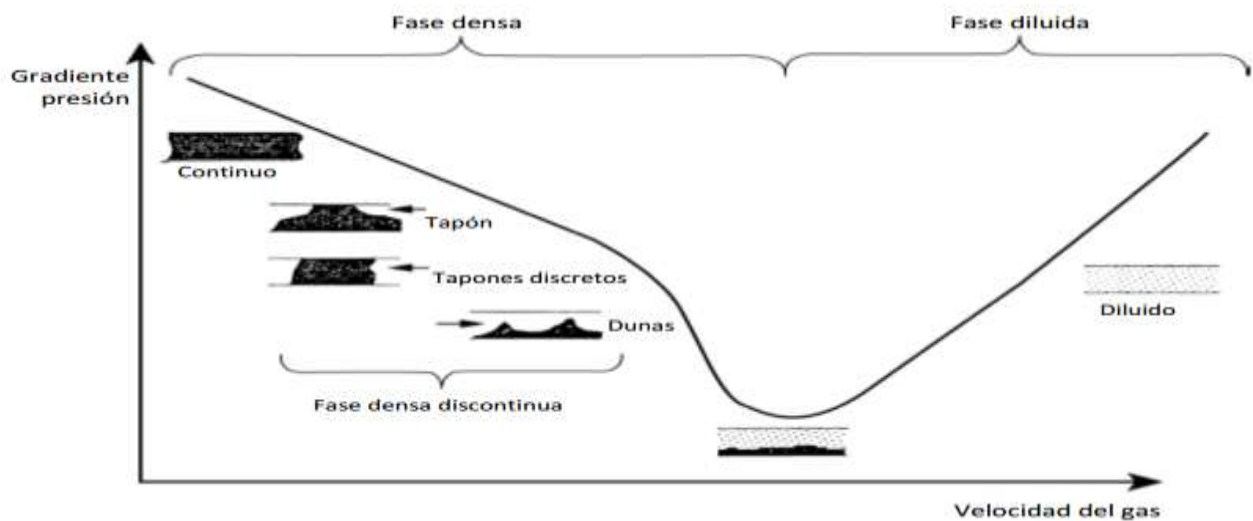


Figura 1.7 Patrones de flujo

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

1.8 Estudio de algunas propiedades físicas del particulado necesarias para el diseño de los equipos separadores y manipulación posterior del particulado extraído.

Para la selección y diseño de equipo separador del particulado, así como para el sistema posterior de manipulación y/o transportación del particulado captado es necesario conocer algunas de sus propiedades más importantes, como son: humedad del polvo atomizado, la determinación de la granulometría de los polvos y peso específico aparente de los polvos.

Ensayo 1

Para determinar las propiedades en la producción de los azulejos se toma una muestra del polvo atomizado y otra a la entrada de la prensa. A continuación se exponen los procedimientos a seguir.

1-Determinación del % de humedad del polvo atomizado y a la entrada de las prensas.

Método N°1 (Balanza Térmica)

Teniendo previamente la tara de la cápsula se pesan 100g de la muestra y se introduce en la estufa a 110°C por espacio de 2 horas hasta que se encuentre completamente seca, luego se procede a enfriar en la desecadora, una vez frío se pesa.

Método N°2 (Termo balanza)

De la muestra recibida se pesan hasta 5g en el plato de la termobalanza previamente encendida, al cerrarla comienza el proceso de secado de la muestra, mostrándose en pocos minutos una lectura en la pantalla del porcentaje de humedad.

Determinación.

El % de humedad se determina por la diferencia del peso inicial y final de la muestra.

2-Determinación de la granulometría de los polvos en el departamento de prensa y en el atomizador.

Este ensayo se realiza en forma seca en un vibrador eléctrico, utilizando diferentes tamices (30, 40, 50,60 y 120) MESH.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Se toman 100g y se añade en el vibrador durante 6 min, transcurrido este tiempo se pesa por separado el retenido de cada tamiz y luego se determina el total. Los resultados son obtenidos directamente del peso retenido en cada tamiz.

3-Determinación del peso específico aparente de los polvos en el departamento de atomizado y prensas.

Este ensayo se determina por medio de una balanza en función de lo que pesa el polvo en una probeta de 1000 ml.

Preparación de la muestra.

La muestra se añade en una bandeja, se coloca en una estufa por espacio de tres horas, al cabo de este tiempo se seca y se deja enfriar. Luego se añaden 1000 ml en la probeta previamente tarada.

Determinación.

El ensayo se realiza en una probeta preparada como se menciona anteriormente, este se pesa y se le resta el peso de la probeta y el resultado será el peso específico aparente.

Fecha	Hum (%)	Peso Espec (g)	Granulometría (%) Malla						Total
			30	40	50	60	120	Fondo	
1	5.8	94.8	5.5	5.0	42.2	18.2	20.4	8.5	100
2	6.2	94.8	5.5	4.9	42.8	19.1	20.2	7.0	99.9
3	6.2	94.9	5.8	5.6	44.3	19.5	18.2	6.2	99.6
4	6.2	95.1	5.5	4.9	42.8	19.1	20.2	7.0	99.50
5	5.8	94.8	5.3	4.7	43.7	19.4	20.2	6.4	99.7
6	6.2	95.1	5.6	5.2	42.0	19.5	20.8	7.5	100.0
7	5.8	94.7	5.9	6.4	48.2	10.1	19.7	9.7	100.0
8	6.0	94.9	5.2	5.6	42.9	19.0	20.5	7.8	100.0
9	6.2	95.0	6.0	5.4	42.8	18.9	19.0	8.1	100.2
10	5.8	94.7	5.4	4.0	44.0	15.8	21.2	9.5	99.9

Tabla 3. Análisis de Tamizado de 10 muestras del polvo para la producción del azulejo.

Ensayo 2

Para determinar las propiedades del polvo ubicado encima de los equipos siguientes: pesa, atomizador (ATM) y prensa. A continuación se exponen los procedimientos a seguir.

1-Determinación del % de humedad del polvo en el atomizador y en la prensa.

Método N°1 (Balanza Térmica)

Teniendo previamente la tara de la cápsula se pesan 100g de la muestra y se introduce en la estufa a 110°C por espacio de 2 horas hasta que se encuentre completamente seca, luego se procede a enfriar en la desecadora, una vez frío se pesa.

Método N°2 (Termo balanza)

De la muestra recibida se pesan hasta 5g en el plato de la termobalanza previamente encendida, al cerrarla comienza el proceso de secado de la muestra abatiéndose en pocos minutos una lectura en la pantalla del porcentaje de humedad.

Determinación.

El % de humedad se determina por la diferencia del peso inicial y final de la muestra.

2-Determinación de la granulometría de los polvos en el departamento de pesa, en el atomizador (ATM) y la prensa.

Este ensayo se realiza en forma seca en un vibrador eléctrico, utilizando diferentes tamices (120 y 325) MESH. Se toman 100g y se añade en el vibrador durante 6 min, transcurrido este tiempo se pesa por separado el retenido de cada tamiz y luego se determina el total. Los resultados son obtenidos directamente del peso retenido en cada tamiz.

3-Determinación del peso específico aparente de los polvos en el departamento de atomizado y prensas.

Este ensayo se determina por medio de una balanza en función de lo que pesa el polvo en una probeta de 1000 ml.

Preparación de la muestra.

La muestra se añade en una bandeja, se coloca en una estufa por espacio de tres horas, al cabo de este tiempo se seca y se deja enfriar, luego se añaden 1000 ml en la probeta previamente tarada.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Determinación.

El ensayo se realiza en una probeta preparada como se menciona anteriormente, este se pesa y se le resta el peso de la probeta y el resultado será el peso específico aparente.

Muestras	Hum (%)	Peso Espec. (g)	Granulometría (%) Malla			Total
			120	325	Fondo	
Materias Primas(pesa)	16.5	95.1	33.5	58.9	6.7	99.1
ATM (producción)	9.5	94.9	2.2	85.9	11.4	99.9
Polvo normal (prensa)	10.2	94.8	1.9	76.0	21.7	99.6
Polvo seco (prensa)	2.3	94.8	1.5	75.8	22.3	99.6

Tabla 3.1 Análisis de Tamizado de 4 muestras del polvo ubicado encima de los equipos.

Diámetro Medio (mm)	Muestra			Peso Promedio (g)	%
	1	2	3		
0.540	0.22	0.24	0.05	0.17	0.17
0.458	0.15	0.10	0.02	0.09	0.09
0.343	0.05	0.05	0.02	0.1	0.10
0.250	33.5	2.2	1.5	12.4	12.40
0.125	58.9	85.9	75.8	73.53	73.53
0.045	6.7	11.4	22.3	13.47	13.47

Tabla 3.2 Análisis de Tamizado de 3 muestras de 100g del polvo ubicado encima de los equipos.

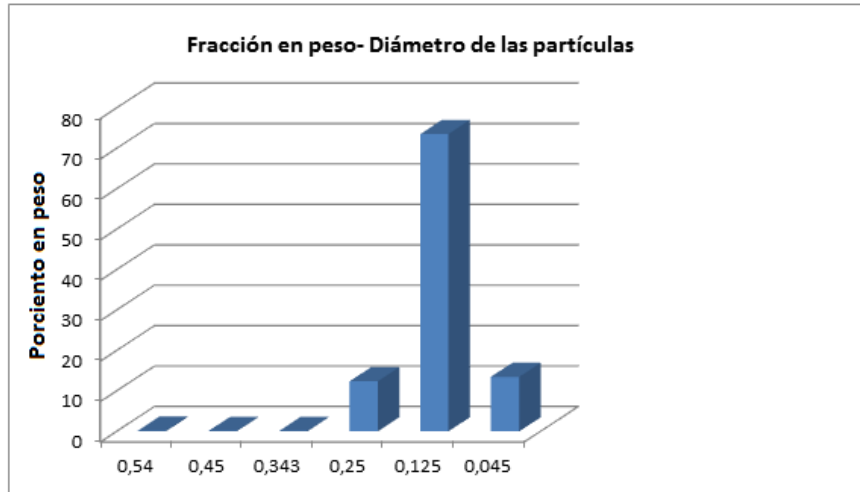


Figura 2. Distribución por tamaño de una muestra de polvo captado encima de los equipos

Tamices (MESH)	mm
325	0.045
120	0.125
60	0.250
50	0.343
40	0.458
30	0.540

Tabla 3.3 Relación MESH con tamaño de la partícula.

Conociendo el diámetro medio de cada fracción así como el peso de cada una de ellas, se determinó el diámetro medio de la muestra en general, obteniendo un valor de 0.294mm.

1.9 Importancia de un sistema de desempolvado.

La primera aplicación de un equipo para controlar la contaminación de aire fue a mediados del siglo pasado. El propósito no era controlar la contaminación ambiental, sino la necesidad de mantener limpio el lugar de trabajo, evitando que sea afectada la eficiencia de los trabajadores; el motivo de mantener el medio ambiente limpio era secundario.

El primer colector de polvo era una simple estructura de ladrillo usando filtros de tela, funcionaba similar a una aspiradora doméstica. La forma actual ha sido usada a lo largo de los últimos 50 años con los mejoramientos principales en las áreas de los mecanismos de limpieza y en la tecnología en los materiales de los filtros. El control de las emisiones en la actualidad forma parte fundamental de cualquier proceso dentro de la fabricación de materiales, en donde existen varios puntos a considerar tales como la extracción, el transporte, almacenamiento y procesamiento de grandes cantidades de material, en su mayor parte seco; siendo esto una fuente de polvo fugitivo y material derramado.

En cuanto al rendimiento de los equipos, se debe decir que cada tonelada de material que se escapa del proceso es una pérdida, mientras los equipos siguen trabajando normalmente consumiendo energía. Las toneladas por hora se reducen, haciendo que el consumo específico de los equipos sea mayor, presentándolos como menos eficientes y con bajos rendimientos.

1.10 Tipos de colectores de polvo

Los colectores de polvo se pueden clasificar en 5 grupos que se definen a continuación:

1.10.1 Por su principio de operación.

1-Ciclones: Los ciclones son colectores centrífugos donde la entrada de partículas es tangencial al cuerpo del cono, forzando el material hacia la parte externa lo que disminuye la velocidad del aire y propicia el desprendimiento de partículas. El aire limpio sale por la parte superior del ciclón como se observa en la figura 1 del Anexo 4. Muchas veces los ciclones se instalan en zonas donde se mueven o descargan grandes cantidades de partículas, para reducir la cantidad de material que va al filtro de mangas.

Los separadores ciclónicos pueden ser por vía seca cuando no se introduce ningún agente humectante en el proceso de separación y por vía húmeda cuando conjuntamente con los gases se emplea algún líquido, en sentido general, utilizan como fuerza separadora la centrífuga, en el caso de un movimiento curvilíneo (rotación), además de la fuerza de gravedad y el flujo de gases en las partículas acciona la inercia. Bajo su acción las partículas tienden a mantener el movimiento rectilíneo, o sea, botan del flujo y se realiza así su separación.

La eficiencia de separación de los separadores ciclónicos depende en gran medida del tamaño de las partículas, mientras más pequeñas sean ellas menor es su peso, menor será la acción de la fuerza centrífuga y la captación se dificulta. Para aumentar la eficiencia de los ciclones se utilizan diferentes métodos encaminados a aumentar el tamaño, ya sea por coagulación o mediante la humectación. Los separadores ciclónicos vía húmeda logran combinar estos dos factores utilizando un medio humectante, por lo regular agua, que al ponerse en contacto con las partículas contenidas en los gases y bajo la acción de una o varias fuerzas físicas, las partículas se mojan, en la mayoría de los casos se hunden y como resultado son captadas partículas hasta con diámetro de 3 a 5 μm . La vía húmeda presenta ventajas sobre la vía seca como son las dimensiones relativamente pequeñas de algunos tipos de equipo.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

El promedio de eficiencia de un ciclón es aproximadamente 65% cuando filtra partículas de 40 micras en tamaño, con una pérdida de carga entre 20 y 40 mm cda, bajo costo, falta de partes móviles, por lo tanto, pocos requerimientos de mantenimiento y bajos costos de operación, colección y disposición en seco.

Una de las desventajas es la eficiencia de recolección de partículas suspendidas totales relativamente bajas, particularmente para partículas menores de 10 μm , no pueden manejar materiales pegajosos o aglomerantes.

2-Colectores de Procesos Húmedos: Este tipo de colectores usan agua para saturar las partículas, y así poder separarlas. Hoy en día se usan dos tipos de colectores húmedos, los sistemas de filtración húmedos que saturan las partículas llevándolas a un decantador, y precipitadores hidroeléctricos que saturan las partículas cargadas y pasan la solución entre placas de metal con cargas opuestas.

Los colectores húmedos son relativamente ineficaces y crean lodo o fango, un problema de contaminación secundaria que también debe considerarse, figura 2 del Anexo 4.

Ventajas:

- Puede recolectar partículas y gases al mismo tiempo; disuelven las partículas solubles.
- Tienen el doble de enfriadores y equipos de control de la contaminación.
- Evitan los riesgos de explosión por la presencia de polvos y gases combustibles.
- Son equipos compactos, de tamaño generalmente pequeño y costo inicial bajo.

Desventajas:

- Cristalización de las sustancias solubles.
- Presentan dificultades para la remoción de lodos; pueden generarse problemas de taponamiento, requiere de equipo auxiliar, como bombas y tanques.
- Alta acción corrosiva.
- Las partículas menores a 1mm son recolectada con bajas eficiencias.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

3-Precipitadores Electrostáticos: Proceso físico por el cual las partículas en suspensión en un flujo gaseoso se cargan eléctricamente y son separados de dicho flujo.

El principio de recolección se basa en el hecho de poder impartir carga negativa a las partículas de la corriente de gas, causando con esto que se adhieran a las placas del colector que se encuentran cargadas positivamente figura 3 del Anexo 4. La diferencia de voltaje entre electrodo y placa para casi todos los diseños es de 60–70 mil voltios. Como en los colectores o filtro de mangas, los precipitadores son extremadamente eficientes y se usan por lo general en las industrias del cemento, electricidad, pulpa, papel y acero. El grado de limpieza esperado es hasta de 99% para partículas menores de 5 micras. Teniendo como ventajas:

- Eficiencia de recolección muy alta para partículas gruesas y finas.
- Recolección en seco.
- Diseñados para operación continua con requerimientos mínimos de mantenimiento.
- Costo de operación relativamente bajo.
- Capacidad para operar a altas presiones o al vacío.
- Capacidad para operar a altas temperaturas, del orden de los 370 a los 540°C.
- Capacidad para manejar en forma eficiente velocidades de flujo de gas relativamente altas.

Desventajas:

- Alto costo de capital.
- Es sensible a cambios en las condiciones de la corriente gaseosa, especialmente el flujo, la temperatura, la composición del gas y las partículas (con su respectiva carga).
- Se requieren espacios grandes, a veces mayores que los filtros de mangas.
- Riesgo de explosión al recolectar partículas o tratar gases combustibles.
- Se requieren medidas especiales de seguridad para proteger al personal de una descarga y se prescinde de personal de mantenimiento altamente capacitado.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

4-Filtros de Cartucho: Los sistemas de cartuchos funcionan usando medios filtrantes con pliegues de aproximadamente 60 a 90cm de largo, hechos de papel. Los colectores de cartuchos se usan típicamente en procesos industriales de menor volumen, con flujos de gases inferiores a 700 m³/h, figura 4 del Anexo 4.

Ventajas:

- Los filtros de cartucho proporcionan altas eficiencias de recolección tanto para materia particulada gruesa como para la de tamaño fino (submicras).
- El aire de salida del filtro está muy limpio y en muchos casos puede ser recirculado a la planta.
- La operación es relativamente simple.
- A diferencia de los precipitadores electrostáticos, los sistemas de filtros de cartucho no requieren de altos voltajes, por lo que su mantenimiento se simplifica y puede recolectarse polvo inflamable con el cuidado apropiado.

Desventajas:

- Para temperaturas muy por encima de los 95°C (200°F), se requieren medios filtrantes especiales, los cuales pueden ser caros. Pueden arder si se recolecta polvo rápidamente oxidable.
- Tienen requisitos de mantenimiento relativamente altos; cambio frecuente de los cartuchos.
- La vida de los filtros puede ser acortada a altas temperaturas y en presencia de constituyentes ácidos o alcalinos que puedan estar presentes como gases o particulados.
- No pueden operarse en ambientes húmedos.

5-Filtros de Mangas:

Los filtros de mangas son aparatos de los llamados filtros por vía seca. Son los filtros o instalaciones para el control de la contaminación de aire más eficaces, puesto que permiten cumplir las más estrictas normativas en cuanto a niveles de emisión de partículas sólidas, con un correcto diseño, su utilización no compromete la cantidad ni la calidad de la producción, permitiendo realizar su mantenimiento sin afectar al proceso productivo de la fábrica. El costo de inversión es menor que el de otro tipo de instalaciones. Si tienen las dimensiones adecuadas y el mantenimiento preventivo necesario, los costos de explotación de este tipo de unidades son razonablemente bajos.

Los filtros de mangas son estructuras metálicas cerradas en cuyo interior se disponen los genéricamente llamados elementos filtrantes textiles, que según sea el diseño del constructor, tienen formas tubulares llamados mangas, o bien formas rectangulares y se llaman sacos o bolsas como se puede apreciar en la figura 5 del Anexo 4. Generalmente las mangas están dispuestas en el filtro en posición vertical. El aire/gas cargado de sólidos es forzado a pasar a través del textil, sobre el que se forma una capa de polvo que separa las partículas sólidas del aire/gas. Las mangas se limpian periódicamente en el interior del filtro por medio de un sistema de limpieza que varía según el diseño del constructor.

Como ventajas estos filtros tiene eficiencia de recolección muy alta de partículas gruesas y finas; El aire de salida del filtro se puede recircular a la planta; El material recolectado se recupera seco, para su posterior procesamiento; La corrosión y oxidación de las partes no es problema; Mantenimiento y reparaciones son sencillas; Se dispone de diversos filtros, por lo que hay gran variedad de dimensiones para adecuarse a los requerimientos de la instalación; operación relativamente sencilla.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Entre sus desventajas, los filtros de mangas que excedan temperaturas de 288°C requieren material refractario especial o telas metálicas costosas. Ciertos tipos de polvos requieren telas tratadas; las concentraciones de algunos polvos en el colector constituyen un riesgo de incendio o explosión si penetran chispas o llamas por accidente. Requerimientos de mantenimiento relativamente altos (reemplazo de las mangas, etc.).

A temperaturas elevadas se puede acortar la vida de la tela, así como en presencia de partículas ácidas o alcalinas y componentes gaseosos.

1.10.2 Por su principio aplicación.

1-Filtros auxiliares: Es una unidad que no es crítica para la operación continua de la planta industrial, o que no representa peligro inmediato ya sea para los trabajadores o para el medio ambiente. Un filtro auxiliar puede ser usado para recolectar partículas de polvo en una planta maderera o en el transporte de material.

En una planta de azulejos, generalmente se encuentran en los puntos de transferencia de las bandas transportadoras, elevadores, aerodeslizadores, ensacadoras, zarandas, etc., en donde, si bien es cierto no pararían la producción inmediatamente, pero dependiendo del problema, puede generar una cadena de eventos que detendría algún equipo principal. Dependiendo del lugar donde va a funcionar, hay que considerar la temperatura, el material que se va a filtrar, la humedad, ácidos, etc., para de esa manera, tener un buen criterio de diseño del filtro, figura 6 del Anexo 4.

2-Filtros de proceso: Este tipo de filtros en cambio son críticos, forman parte del proceso de producción. Puede ser usado continuamente las 24 horas del día, 365 días al año. Normalmente procesa volúmenes extremadamente altos y puede ser sometido a altas temperaturas, materiales abrasivos, partículas minúsculas, altas concentraciones de contaminantes y sustancias corrosivas.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

La definición de filtro de proceso es que, si el colector funciona mal, la producción de la planta se detiene. Por ejemplo, en una planta de asfalto, si el filtro no funciona adecuadamente, la producción de la planta es reducida. Si el filtro deja de funcionar completamente, la planta entera deja de funcionar, figura 7 del Anexo 4.

Además, cuando gases tóxicos están presentes, el buen funcionamiento del colector es esencial ya que es importante que estas sustancias tóxicas no salgan al ambiente. Debido a estos factores, los colectores de procesos son mantenidos en manera diferente a la de los auxiliares. Son inspeccionados más frecuentemente, mientras los colectores auxiliares son inspeccionados cada mes aproximadamente, estos son inspeccionados semanalmente de manera más minuciosa.

1.10.3 Por su diseño de filtración

1-Filtración exterior: Son llamados así porque las partículas se recolectan en la superficie externa de la manga y el aire limpio sale a través del interior, figura 8 del Anexo 4. Entre los que utilizan este tipo de filtración se tienen los filtros de manga pulse-jet.

2-Filtración interior: En los filtros de mangas con filtración interna (los filtros de aire reverso por ejemplo), las partículas son recolectadas en el lado interior de las mangas. El gas cargado de partículas entra a través de la parte interior del colector y es dirigido al interior de la manga, figura 9 del Anexo 4.

1.10.4 Por la presión en el sistema

1-Presión positiva: Los gases contaminados son impulsados o succionados al colector por un ventilador. Cuando el gas contaminado es impulsado hacia el colector por medio de un ventilador colocado antes del colector, el colector se llama colector de presión positiva figura 10 del Anexo 4. Se pueden construir colectores de presión positiva con estructura más débil, ya que la presión positiva es contrarrestada por la presión atmosférica que actúa en la estructura o cámara del colector.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Sin embargo, existen limitaciones debido a que el ventilador está localizado en la parte sucia del sistema, el deterioro prematuro de sus componentes puede ocurrir con este tipo de arreglo, siendo esto muy importante cuando se trata de mantenimiento y condiciones de operación del colector.

El ventilador, es un componente integral del sistema; si presenta un mal funcionamiento, puede ocasionar el paro completo de operaciones. Colectores de presión positiva son menos costosos inicialmente debido a su estructura por ser más débil, pero más caros a largo plazo. Este tipo de colectores, normalmente tienen pequeñas chimeneas o salidas en la parte superior del colector que se llaman monitores de techo.

Esto es problemático cuando la prueba de emisiones es necesaria para determinar la efectividad de filtración. Sistemas de presión positiva son usados con mejores resultados cuando los gases son de poca humedad y de bajas concentraciones de polvo no abrasivo.

2- Presión negativa: Cuando el ventilador se encuentra en la parte limpia del colector, el aire contaminado es succionado hacia el colector, y el sistema se llama colector de presión negativa, figura 11 del Anexo 4. La estructura de este tipo de colectores debe ser reforzada ya que la presión negativa actúa junto con la presión atmosférica.

Al tener presión negativa, no pueden existir fugas de aire contaminado, y la limpieza en los alrededores del colector es reducida. El deterioro del ventilador es mucho menor en los sistemas de presión negativa; las partículas son separadas del aire antes de entrar al ventilador.

Esto puede ser el factor más importante en seleccionar colectores de presión negativa. Los sistemas de presión negativa son usados cuando los gases son corrosivos, contienen alta humedad o gran concentración de polvo abrasivo. Una vez que el gas entra al colector, las partículas son capturadas por el material de filtración.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Los colectores normalmente son construidos usando grandes cantidades de filtros cilíndricos o bolsas que son colgados verticalmente en el colector. El número de bolsas puede variar de cien a mil o más, dependiendo del tamaño del colector y los requerimientos de volumen de aire del sistema. Cuando la capa de polvo crece hasta cierto espesor, la bolsa es limpiada, causando que las partículas caigan a la tolva de recolección.

Estas partículas son guardadas en la tolva temporalmente y luego son retiradas por medio de transportadores neumáticos o tornillos sin fin. El aire limpio es llevado al ambiente a través de la chimenea o en algunos casos, puede ser recirculado dependiendo de las necesidades del proceso.

En la tabla 1 del Anexo 4, comparamos los cinco tipos de colectores en base a las características mencionadas previamente, basándose por su principio de operación; teniendo en cuenta que los aspectos más importantes para dicha aplicación son la eficiencia, la continuidad del filtrado mientras se limpia, la capacidad del equipo, entre otros.

Como resultado de la comparación se evidencia que el filtro de mangas es el tipo de colector que más se ajusta a nuestros requerimientos para el sistema al obtener una mayor puntuación entre ellos.

1.11 Tipos de filtros de mangas

Por la presión en el sistema existen tres tipos de filtros de mangas: de sacudido, aire reverso y pulse jet.

1-Filtros de mangas de sacudido: Este tipo de filtros colectan el polvo en el interior. La estructura generalmente tiene dos o más compartimientos para permitir que uno de ellos pueda desconectarse para su limpieza figura 12 del Anexo 4. Las mangas filtrantes cuelgan de forma vertical en filas con la parte superior cerrada, permitiendo así que se conecten al mecanismo de sacudido a lo ancho del colector. La parte inferior de las mangas está abierta y se conecta a la placa porta mangas.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Durante el proceso de limpieza o filtración, el aire sucio entra al colector y se acumula en la parte interior de la manga. La capa de polvo mantiene la manga abierta. Para comenzar el proceso de limpieza, la compuerta de entrada se cierra y se inicia el movimiento del mecanismo de sacudido creando una onda sinusoidal que comienza en la parte superior de la manga y crea ondas a lo largo de esta. La capa de polvo se desprende y cae en la tolva. La mayoría del polvo es recolectado en los primeros 5 a 10 segundos de limpieza. En sistemas de filtros industriales se necesita un motor para activar el mecanismo de sacudido, para poder mover la barra a la que se conectan los filtros de mangas. Este proceso requiere poca energía para producir una onda que desprende las partículas del interior de las mangas.

Otro problema frecuente es la acumulación de polvo u otro material en la tolva alrededor de la base de la válvula. Esta acumulación puede dificultar el cierre de la válvula, especialmente si hay humedad. La corrosión en la base de la válvula también puede evitar que se cierre por completo. El mantenimiento de la válvula y de la compuerta de entrada asegurará un funcionamiento eficaz y sin problemas.

Debido al gran número de partes móviles, los filtros de sacudido suelen necesitar más mantenimiento que otro tipo de unidad. Las mangas se desgastan más rápidamente y fallan más que en otros sistemas de limpieza no mecánicos. La limpieza acústica puede complementar, y en algunos casos eliminar el uso de mecanismos de sacudido ya que reduce el tiempo y la frecuencia de los ciclos de limpieza. Para que la limpieza acústica sea eficaz se necesita que las mangas tengan la tensión adecuada.

2-Filtros de mangas de aire reverso: La estructura de los filtros de mangas generalmente está constituida de varios compartimientos que permiten su aislamiento durante el ciclo de limpieza.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

En un sistema de aire reverso, el gas cargado de polvo entra a través de la parte inferior del filtro y es dirigido hacia las mangas filtrantes por medio de deflectores. Las partículas se recogen en el interior de las mangas que cuelgan verticalmente, mientras que el aire limpio se encuentra en el exterior de las mangas, figura 13 del Anexo 4.

Normalmente, las mangas en colectores de aire reverso son muy grandes y tienen anillos de soporte cosidos en la parte exterior para evitar el colapso de las mismas durante el proceso de limpieza. El número de anillos o aros de soporte se determina según la longitud de la manga y la aplicación específica. La parte superior de la manga se conecta a un tensor que tiene un gancho en el centro. Dicho tensor permite la flexión necesaria en las mangas para obtener un buen desprendimiento de la capa de polvo. La parte inferior de las mangas se sujeta a un collarín o directamente a la placa separadora, manteniendo así las mangas fijas, actuando a la vez como barrera entre el plenum limpio y el sucio.

Durante el ciclo de limpieza, se cierra el aire sucio en un compartimiento determinado. Este compartimiento es presurizado con una corriente de aire limpio de baja presión generada por un ventilador o una fuente ambiental. Las mangas colapsan y la acción permite el desprendimiento del polvo hacia la tolva. Este tipo de limpieza es bastante fuerte por los cambios de presión en el sistema.

La frecuencia de limpieza depende de la concentración de polvo a la entrada del filtro. Puede ser continua o extenderse durante varias horas. Un ciclo completo consta de la apertura de la válvula, el cierre de la misma y el asentamiento de polvo; por lo general el ciclo de limpieza completo dura alrededor de los 30s.

Cuando el compartimiento es aislado, cualquier otra lectura que no sea cero indica que la compuerta de entrada no está cerrada como debería. Este flujo de aire causado por una fuga puede afectar severamente la eficacia de la limpieza. Todos los medidores de presión diferencial deben estar calibrados adecuadamente y recibir mantenimiento constante.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

3-Filtros de mangas pulse-jet: Este tipo de filtros, permite una mejor cantidad de aire con igual área en el colector, mayor relación de aire-tela. El sistema pulse-jet funciona generalmente con una relación de aire a tela de 1.21.8m³/m²/min. Esto significa que la estructura general del filtro es de menor tamaño, lo que posibilita que sea más económico al construirse. Las mangas filtrantes cuelgan verticalmente dentro de la unidad y se sujetan por la parte superior con abrazaderas y la parte inferior de la manga es cerrada. En estos sistemas, las mangas tienen canastillas internas de alambre. El aire sucio entra al sistema y es filtrado depositando el polvo en la superficie externa de la manga. Durante el ciclo de limpieza, el polvo se desaloja usando un chorro de aire comprimido que se inyecta en la parte superior de las mangas filtrantes, figura 14 del Anexo 4.

Este aire se proporciona a través de un tubo con boquillas que alimenta los venturis localizados en la parte superior de las bolsas. El chorro de aire a alta presión interrumpe el flujo normal de aire a través del filtro. También crea una onda que al desplazarse a lo largo de la manga hace que esta se flexione, rompiendo la capa de polvo que cae hacia la tolva.

En muchos casos, el venturi se usa para aumentar la velocidad del chorro de aire creando un impulso suficientemente grande para que pueda desplazarse a lo largo de la manga y regresar al punto de origen. El ciclo de limpieza para filtros pulse-jet debe estar diseñado para producir un impulso corto y conciso para lograr una limpieza eficaz. La duración de éste es de 0,10 a 0,15 segundos usando presiones de pulsación de 4-7 bares (60-100psi).

La frecuencia de limpieza es un factor de importancia para la retención de cierta capa de polvo sobre la manga. Los intervalos entre los ciclos de limpieza pueden variar de 1 a 30 segundos o más. La frecuencia debe adaptarse para mantener la presión diferencial entre 2 y 6 pulgadas de agua.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Este sistema no tiene partes móviles, y limpia continuamente sin necesidad de aislamiento. Sin embargo, debido a la presión de aire que se utiliza, es necesario escoger textiles con mayor estabilidad dimensional y resistencia a la tensión.

1.11.1 Por su secuencia de limpieza.

Todos los colectores se pueden identificar por su secuencia de limpieza: intermitente, automática continua o de limpieza continua.

1-Limpieza intermitente: Estos filtros de mangas tienen un compartimiento, generalmente de sacudido y es necesario apagar el ventilador para que el mecanismo de limpieza pueda iniciarse.

2-Limpieza continua fuera de línea: Los filtros tienen varios compartimientos o secciones. Cada compartimiento se limpia con una secuencia rotatoria desconectándose de los demás durante la limpieza. El aire sucio se desvía a otro compartimiento, gracias a esto, se puede continuar filtrando durante la limpieza; por ejemplo, los filtros de aire reverso.

3-Limpieza continua en línea: Los filtros son completamente automáticos y generalmente están en línea durante la limpieza.

El proceso de filtración se interrumpe momentáneamente debido al aire comprimido que limpia las mangas en los filtros pulse-jet. Los filtros grandes de limpieza continua, generalmente tienen varios compartimientos para evitar tener que apagarse durante el mantenimiento.

Una vez revisados los diferentes tipos de filtros de mangas, se procede a realizar una comparación entre ellos, en base a las características mencionadas por el principio de presión en el sistema, para encontrar el tipo de filtro de mangas que mejor se ajuste a nuestra necesidad.

En la tabla 2 del Anexo 4 tenemos la comparación entre los diferentes filtros.

El filtro de mangas, tipo pulse jet se ajusta más para la aplicación de un sistema colector de polvo auxiliar. Se analizarán sus consideraciones de diseño posteriormente.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

1.12 Componentes de un sistema colector de mangas.

Para que un filtro de mangas pueda cumplir su función, necesita además de otros componentes para poder generar un sistema colector de polvos. El filtro como tal, no podría trabajar correctamente sin que existiera confinamiento en el sistema, ductos a través de los cuales el aire contaminado y limpio circulan, un ventilador para el transporte del fluido, sistemas de acondicionamiento a la entrada del filtro dependiendo las condiciones del proceso, sin olvidar la salida de los gases limpios por medio de chimeneas o salidas simples a raíz del ventilador. Se precisará de manera breve los componentes de un sistema colector de mangas.

Diagrama general de la instalación.

La instalación empieza con la campana de aspiración en el punto donde se desea captar el aire o gas contaminado. En cualquier sistema de ventilación, la idea de mejorar el ambiente y controlar la emisión, necesariamente tiene que ir de la mano con algún tipo de confinamiento para poder aumentar la velocidad del aire o gas a la entrada al sistema, figura 3.

A medida que el gas pasa a través de la tubería hacia el colector, en algunos casos, es necesario proporcionar algún tipo de sistema de enfriamiento para evitar temperaturas altas. Existen varios métodos de enfriamiento, por ejemplo, la dilución del gas utilizando aire ambiente, es el método de enfriamiento más simple y económico, especialmente para temperaturas muy elevadas.

La dilución de aire aumenta el volumen de gas en forma considerable, por lo tanto, requiere la utilización de un filtro de mangas más grande que pueda manejar mayor volumen de aire. Por lo general, la máxima temperatura que soportan las mangas se encuentra alrededor de los 260 °C, y ante esto, se tiene por ejemplo: serpentines, intercambiadores, torres de acondicionamiento, compuertas de aire de dilución (aire frío mezclado con aire caliente).

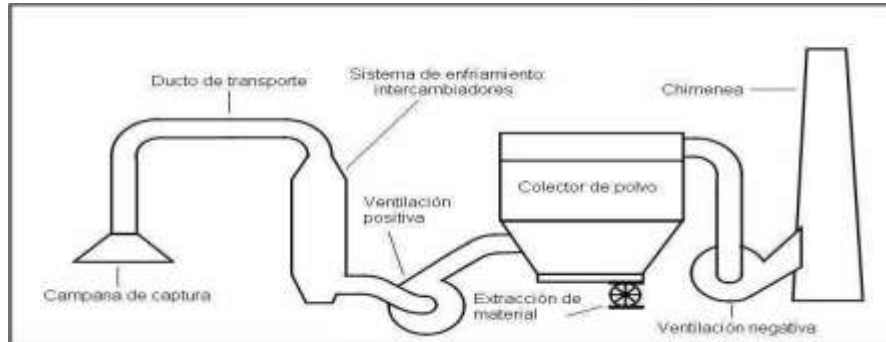


Fig. 3 Diagrama general de la instalación.

El enfriamiento radiante utiliza tubos sin aislamiento que permite el enfriamiento del flujo del gas a medida que atraviesa el sistema. La tubería puede tener un diseño en forma de U para contar con mayor superficie de tubo expuesta al enfriamiento. En aplicaciones en las que se utiliza este método de enfriamiento, es difícil mantener temperaturas exactas y se corre el riesgo de obstrucción en la tubería por acumulación de partículas.

La entrada al filtro de mangas, es el lugar por donde el aire que se mueve por la tubería entra al colector. Una buena distribución del flujo de gas no necesariamente significa tener también una buena distribución del polvo, sin embargo, una buena distribución de gas va de la mano con una mejora en la distribución del polvo. El flujo de gas con polvo que ingresa no es muy positivo si entra en contacto directo con las paredes internas del filtro y con las mangas; una mala distribución da como resultado cortos ciclos de limpieza, alto consumo de aire comprimido y una vida de mangas corta.

Usualmente se acostumbra a colocar una plancha deflectora a la entrada al filtro, figura 15 del Anexo 4, causando que el polvo con gas impacte contra ella precipitando las partículas grandes a la parte inferior de la tolva, pero debido al tiro producido por el ventilador, el flujo de aire con polvo fino sigue su camino hacia las mangas pero no lo hace de manera distribuida.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

La corriente de aire con polvo circula bastante cerca de las paredes de la tolva y siempre en dirección de las mismas mangas causando un desgaste prematuro en ellas. Este caso es más crítico en tolvas angostas. Las tolvas y las mangas sufren desgaste por abrasión.

Un mejor diseño consiste en colocar deflectores de manera escalonada uniformemente, como se aprecia en la figura 16 del Anexo 4.

Otra consideración que se debe tener en cuenta, es evitar que el número de entradas al filtro sea mayor a una. Una sola entrada garantiza una circulación del flujo normal, en tanto que si al filtro llegan 2 o más ductos, sus flujos respectivos se encontrarían causando turbulencia a la entrada, generando más pérdidas en el sistema, como nuestro material no es abrasivo, se omitirá la plancha deflectora.

El ventilador es el corazón del sistema. Controla el flujo de gas en el punto de generación de la contaminación y en el resto del sistema y sus componentes. Proveen la energía necesaria para que el flujo logre vencer la resistencia (o caída de presión) a través de la ductería y el colector. Los ventiladores pueden clasificarse según la presión desarrollada y según la dirección del flujo de aire.

Según la presión desarrollada:

1. De baja presión: La presión total desarrollada es inferior a 100mm col HO. (Ventiladores propiamente dichos).
2. De media presión: La presión total desarrollada es superior a 100mm col H₂O e inferior a 300mm col H₂O (soplantes).
3. De alta presión: La presión total desarrollada es superior a 300mm col H₂O e inferior a 1000mm col H₂O (turbo axiales).
4. De muy alta presión: mayor a 2500mm col H₂O (turbocompresores).

Según la dirección del flujo:

1. De flujo radial (centrífugos)
2. De flujo semiaxial (hélico-centrífugos)
3. De flujo axial

Ventiladores Axiales

Los ventiladores axiales están compuestos básicamente de un rotor con dos o más paletas, solidario a un eje propulsor movido por un motor que impulsa aire en una trayectoria recta, con salida de flujo helicoidal, figura 4. Existen 3 tipos básicos de estos ventiladores que son: helicoidales, tubulares y turboaxiales.

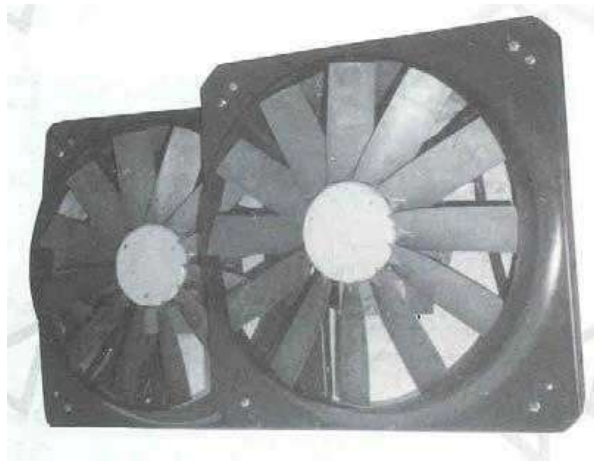


Fig. 4 Ventilador Axial

Ventiladores Helicoidales

En estos ventiladores el aire se desplaza en el sentido del eje de rotación de la hélice. La hélice tiene un núcleo al cual se fijan las palas perfiladas y dispuestas formando un ángulo dado. Si las palas no tuvieran ningún ángulo de ataque más acción tiene la hélice sobre el aire. Su composición simple lo convierte en un aparato barato en comparación con su caudal. Al tener poca presión disponible solo se pueden aplicar, donde la resistencia al flujo de aire es baja, es decir, en instalaciones de pocos metros de ducto y aún éste del mismo diámetro de la hélice. Se emplean para mover aire con poca pérdida de carga. Su aplicación más común es la ventilación general; se utiliza frecuentemente en montaje mural, en extracción e impulsión de aire sin mediación de ductos.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Un ventilador helicoidal está compuesto por una virola, una hélice y un sistema de accionamiento. Se construyen con dos tipos de alabes: alabes de disco para ventiladores sin ningún conducto y alabes estrechas para ventiladores que deban vencer resistencias bajas (menos de 25mm col H₂O). Sus prestaciones están muy influenciadas por la resistencia al flujo del aire y un pequeño incremento de la presión provoca una reducción importante del caudal.

Las características de un ventilador helicoidal son:

1. Grandes caudales de aire.
2. Presión disponible reducida.
3. Buen rendimiento.
4. Ruidosos.
5. Curva plana.

El caudal de aire que transportan los ventiladores helicoidales es grande, en relación a su tamaño las hélices de diámetro de 800mm puede dar hasta 30m³/h.

Ventiladores Tubulares

Disponen de una hélice de alabes estrechos de sección constante o con perfil aerodinámico (ala portante) montada en una carcasa cilíndrica, generalmente no disponen de ningún mecanismo para enderezar el flujo de aire. Los ventiladores tubulares pueden mover aire venciendo resistencias moderadas (menos de 50mm col. H₂O). Son apropiados para ser conectados a ductos y operar en serie.

Ventiladores Turboaxiales

Tienen una hélice de alabes con perfil aerodinámico (ala portante) montado en una carcasa cilíndrica que normalmente disponen de aletas enderezadoras del flujo de aire en el lado de impulsión de la hélice. En comparación con los otros tipos de ventiladores axiales, éstos tienen un rendimiento superior y pueden desarrollar presiones superiores (hasta 600mm col. H₂O).

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Las directrices o compuertas tienen la misión de hacer desaparecer la rotación existente o adquirida por el fluido en la instalación, a la entrada del rodete o tras su paso por el mismo. Estas directrices pueden colocarse a la entrada o a la salida del rodete, incluso las hay fijas o removibles.

Ventiladores Centrífugos

Un ventilador centrífugo tiene una turbina compuesta por un número de aletas montadas alrededor de la manzana. El gas desde el lado de la turbina, gira 90°, acelera y pasa hacia las aletas del ventilador. Los ventiladores centrífugos pueden alcanzar altas presiones en el flujo de gas, por lo tanto, son los más eficaces para procesos industriales y para los sistemas de control de la contaminación, figura 5.

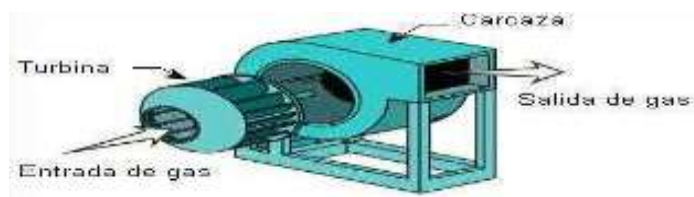


Fig. 5 Ventilador centrífugo

Las características que reúnen los ventiladores centrífugos son:

1. Caudales algo menores.
2. Presiones más elevadas.
3. Buen rendimiento.
4. Silenciosos.
5. Son más utilizados en sistemas de control de la contaminación.

El uso de dámpers a la entrada o salida del ventilador es frecuente; son utilizados para controlar el flujo de gas al o desde el ventilador. Los dámpers en la salida imponen una resistencia al flujo que es utilizado para el control del flujo de gas; mientras que los dámpers colocados a la entrada se ajustan a las diferentes condiciones del proceso de acuerdo al flujo de gas que el ventilador debe manejar, figura 17 del Anexo 4.

Tipos de turbinas en ventiladores centrífugos

Existen 3 tipos de turbinas:

1. Curvas hacia delante. - En el sentido de la rotación del ventilador. Son afectados enormemente por flujos de gas con material particulado. No son utilizados en sistemas colectores, figura 6.
2. Curvas hacia atrás. - Este tipo de ventiladores están diseñados para manejar flujos de gases con una pequeña concentración de material particulado. Son más eficientes, figura 6.
3. Radiales. - Las aletas radiales son las que mejor desempeño tienen para flujo de gases con alta concentración de material particulado, figura 6.



Fig. 6 Tipos de turbinas

CAPÍTULO 2.

2.1 DISEÑO DE UN SISTEMA COLECTOR DE POLVO EN BASE A LAS CONSIDERACIONES DE FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA.

Antes de revisar las razones que afectan el funcionamiento de un filtro de mangas, es fundamental entender el concepto “ sistema”. En términos muy simples, este concepto reconoce que el equipo de control para la contaminación ambiental es parte de un proceso, y por lo tanto, para prever cómo diseñar o evaluar el rendimiento de este tipo de equipos es necesario considerar el proceso completo.

Desde el punto de vista del diseño, lo primero que se debe discutir es el concepto de caída de presión o de carga. En el diseño de un sistema de evacuación se deben considerar diversos factores, uno de ellos es la resistencia a la presión a través del proceso. Ingenieros de diseño estiman que la resistencia al flujo de aire a través del filtro de mangas debe ser de 100mm a 200mm (4 a 8 pulgadas) de columna de agua del lado limpio al lado sucio de la unidad. El objetivo del sistema de evacuación es transportar el flujo de gas desde la fuente hacia el filtro de mangas o cualquier otro tipo de sistema de control para la contaminación de manera eficiente y efectiva. Por lo tanto, durante el diseño del sistema de colección se deben considerar los siguientes factores entre otros: el volumen de polvo y aire que se genera en el punto de entrada, la distancia que el flujo debe recorrer hasta el final del colector, la composición química del flujo de gas.

Asumiendo que se cuenta con la información anterior, el siguiente paso para determinar el tamaño del sistema es evaluar las características del ventilador de acuerdo a la resistencia que encontrará a lo largo del sistema. Es importante comprender que el flujo de aire enfrenta resistencia desde el punto de entrada a través del conducto y en el filtro de mangas, también en todas las áreas que necesitan ser evaluadas para asegurar un funcionamiento adecuado del filtro, como campanas de captura y accesorios a través de la ductería.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

El proceso puede sufrir diversas modificaciones como por ejemplo aumento o disminución de la producción, cambios en el material recolectado, etc., que pueden alterar el buen funcionamiento del colector. Cualquier cambio puede afectar el volumen de los flujos de gas que a su vez altera el funcionamiento del filtro. Se considera que para evaluar de manera apropiada el funcionamiento de un filtro de mangas, es fundamental hacer una evaluación de los elementos localizados antes y después de él.

2.2 Cantidad de aire requerido de acuerdo al equipo a desempolvar.

Los problemas que generan las partículas presentes en el aire están en función del rango de tamaño, de la concentración y de la composición física y química de las mismas; las partículas entre 1 y 20 μ m, tienden a seguir el movimiento del gas por cuanto viajan en él.

Para el traslado neumático de las partículas es necesario captar localmente la emisión de polvo, por lo que se debe proceder de la siguiente manera:

1. Identificar los puntos de emisión del material particulado.
2. Encerrarlo bajo una campana.
3. Establecer una succión capaz de captar, arrastrar y trasladar el aire, cargado de partículas, hacia el colector de polvo y de allí para su reprocesamiento.

Estos pasos, son los que provocan la caída de presión en el sistema.

Para poder determinar el volumen de aire total, recurriremos a la tabla 1, tabla 2 y tabla 3 del Anexo 5 otorgada por Holcim Group Support a través de su departamento de tecnología mecánica. Este documento forma parte del “Holcim Design Criteria” que se utiliza para trabajos de ingeniería en las plantas.

Un sistema de desempolvado puede ser concebido para atender uno o más puntos dentro del proceso. En el pesado y traslado de las materias primas hacia los molinos se deben colocar sistemas de captación, considerando inicialmente para esto el volumen de aire que hay que ventilar en cada uno de los puntos; esto es lo primero a determinar para cualquier sistema de desempolvado.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Existen estándares recomendados de acuerdo a cada aplicación al aire ambiente, la suma de los volúmenes de aire de cada uno de los puntos a desempolvar será el volumen total que el sistema manejará y el dato inicial para el diseño del colector.

Los puntos críticos a desempolvar son:

1. Departamento de Prensa: Posee 2 bandas transportadoras de 25".

$$Q = (4250 \times 2) \frac{m^3}{h} = 8500 \frac{m^3}{h} \times \frac{1h}{3600s} = 2.36 \frac{m^3}{s}$$

2. Departamento de Pasta (ATM y Silos): Posee 2 bandas transportadoras de 25", 2 elevadores de cangilones y una maya clasificadora de polvo.

$$Q = [(4250 \times 2) + (3250 \times 2) + (50)] m^3/h = 15050 \frac{m^3}{h} \times \frac{1h}{3600s} = 4.18 \frac{m^3}{s}$$

3. Departamento de Pasta (Molinos): Posee 1 bandas transportadoras de 25".

$$Q = (4250) m^3/h = 4250 \frac{m^3}{h} \times \frac{1h}{3600s} = 1.18 \frac{m^3}{s}$$

4. Departamento de Pesa: Posee 2 bandas transportadora de 25"

$$Q = (4250 \times 2) m^3/h = 8500 \frac{m^3}{h} \times \frac{1h}{3600s} = 2.36 \frac{m^3}{s}$$

5. Departamento de esmalte: Posee 2 zarandas vibratoria.

$$Q = (450 \times 2) m^3/h = 900 \frac{m^3}{h} \times \frac{1h}{3600s} = 0.25 \frac{m^3}{s}$$

2.3 Medidas de flujo de aire.

El aire fluye, naturalmente desde una región de alta presión a otra más baja. Este movimiento se produce debido a la diferencia de presiones que existen entre estos dos puntos. La velocidad del flujo depende de la resistencia que encuentre la corriente de aire. Al igual que cualquier otra cosa que se mueve, el aire ejerce una presión contra los obstáculos que se encuentre a su paso, proporcional a su velocidad. La presión debida a la velocidad es designada como presión dinámica.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

El aire transporta las partículas a una cierta velocidad, y para el cálculo generado en el ducto será necesario el valor de la presión dinámica (VP) generada en el interior de la misma, la cual se la obtiene de la siguiente fórmula:

$$V = 4.003 \times \sqrt{VP}$$

Despejando se puede obtener el valor de la presión dinámica. Este valor servirá de ayuda para la pérdida en los accesorios ya que se encuentran en función de la presión dinámica del sistema. Este cálculo también se puede realizar de acuerdo a la tabla de presión dinámica para diferentes velocidades (Tabla 4 del Anexo 5).

Presión estática: Cuando la materia está en movimiento, encuentra resistencia, su progreso se retarda, y el aire no es ninguna excepción. Hasta las conducciones rectas restringen su flujo, debido a la fricción contra los lados.

Presión total: La presión estática desarrollada por un ventilador es la presión que puede dar lugar al movimiento de aire en contra de una resistencia. En otras palabras, es la potencia disponible para efectuar el trabajo. En todo movimiento de aire existe una cierta presión dinámica y una cierta presión estática, en función de la resistencia. La suma de las dos, da la presión total desarrollada por un ventilador y se denomina presión total.

2.4 Campana de captura.

El polvo generado en el proceso debe ser capturado con una mínima velocidad de captura para que pueda ser transportado hacia el colector. Para este fin están diseñadas las campanas de captura, llevar el polvo generado dentro del sistema, figura 7.



Fig.7 Emisiones capturadas/fugitivas

La ubicación de la campana es muy importante para la captura de las emisiones debido a que el caudal dentro del ducto del sistema varía con el cuadrado de la distancia entre la campana y la fuente de contaminación.

$$Q = V_h \times (10 \times X^2 + A)$$

Donde:

Q = Caudal necesario en el punto de desempolvado.

X = Distancia desde la cara del ducto que da hacia la fuente hacia el punto más lejano de la fuente.

V_h = La velocidad de captura a la distancia X (1.0-2.5m/s)

A = Área de la entrada de la campana.

La velocidad de captura es el nombre con que se conoce a la velocidad en la boca de una campana o cabina de las partículas flotantes en sistemas transportadores antes de entrar a la campana de captura. El polvo se mezcla con el aire en el punto de generación y es transportado a lo largo del ducto; tomas experimentales de datos han determinado los valores para las velocidades de captura en condiciones ideales para la mayoría de operaciones en la industria; se indican en el Anexo 5, tabla 5.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
 www.uho.edu.cu

El diseño de la campana de captura en los puntos de succión deberá otorgar el tiro suficiente para levantar las partículas que están en combinación con el aire ambiente pero sin capturar el material que forma parte del flujo principal.

En las industrias de cerámica, se utilizan campanas de capturas cerradas que proveen un mejor control de las emisiones, figura 8; las tapas de inspección y accesos deben ser lo más pequeños posibles.

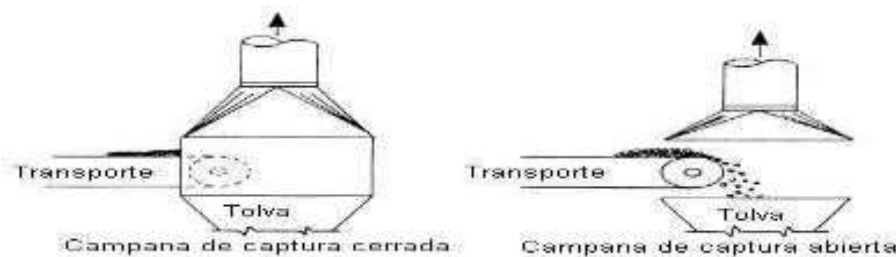


Fig. 8 Tipos de campanas de captura

Pérdidas de presión en campanas.

La velocidad de transporte de las partículas deberá llegar a 18 m/s como mínimo, siendo ésta la velocidad promedio para polvos industriales y para el cálculo será necesario el valor de la presión dinámica (VP) que se obtiene, despejando la ecuación 15:

$$VP = \left(\frac{v}{4.003}\right)^2 \tag{15}$$

$$VP = \left(\frac{18}{4.003}\right)^2$$

$$VP = 20.22 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Ahora también se necesita el factor de pérdida C_o , existen tablas donde se obtiene su valor de acuerdo a las dimensiones y forma de la campana (Anexo 5, figura 1).

El valor C_o depende exclusivamente del ángulo θ . Es por ello que de acuerdo al diseño de la campana se obtiene un valor del ángulo de 60° (según plano de fabricación) y así un factor de pérdida de:

$$C_o = 0.17$$

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Adicionalmente, existen pérdidas de fricción por longitud de tubería, pérdida de energía asociada a turbulencia en contracciones, accesorios como uniones, válvulas, codos, derivaciones (Y pantalones) y obstrucción. Estas pérdidas pueden ser calculadas, usando la ecuación 16, con un apropiado factor de pérdida:

$$HF = K_f \times VP \quad (16)$$

Donde:

K_f = factor de pérdida de accesorio, adimensional.

Entonces utilizando la ecuación, esta pérdida puede ser calculada con el factor de pérdida apropiado:

$$H_o = 0.17 \times 20.22$$

$$H_o = 3.44 \text{ mmH}_2\text{O}$$

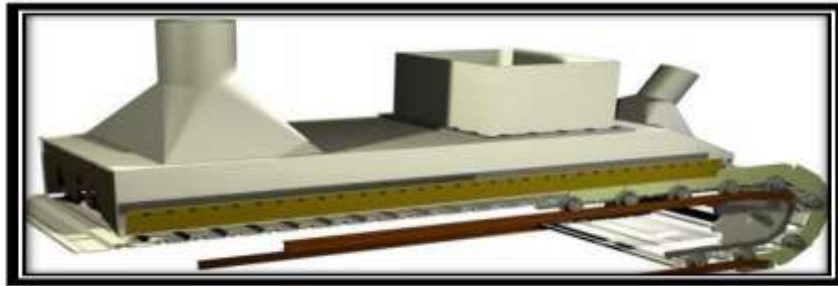


Fig. 9 Campana en bandas transportadoras

En el Holcim Design Criteria se encuentra una tabla que indica las dimensiones para la construcción de las campanas en base al volumen de aire en ese punto y las velocidades de entrada y salida deseadas de las partículas a través de la campana, como se aprecia en la Anexo 5 figura 2. La velocidad de captura utilizada es de 1.42 m/s, que se encuentra dentro del rango permisible para su aplicación.

2.5 Diseños de ductos.

2.5.1 Principios de flujo de aire.

El diseño de ductos se fundamenta en la mecánica de fluidos y sus principios. Para los análisis realizados en diseños, es necesario establecer primeramente las propiedades de los fluidos.

Para el fluido es necesario realizar las siguientes asunciones:

- Se desprecian los efectos del intercambio térmico.

Si la temperatura dentro de los ductos es significativamente diferente a la del aire de los alrededores del ducto, se produciría intercambio de calor en consecuencia se tendría un cambio de temperatura del aire y por tanto se modificaría el caudal.

- Se considera que el aire es incompresible.

Si la pérdida global de presión en el sistema es superior a 500 mmH₂O la densidad del aire cambiará aproximadamente el 5% y el caudal también se modificará. Todos los fluidos son compresibles en cierto grado, pero un análisis incompresible es satisfactorio para gases y vapores con velocidades alrededor de los 18m/s.

- Se supone que el aire es seco.

La presencia del vapor de agua reduce la densidad del aire. Debe efectuarse una corrección para tener en cuenta este efecto, se debe hacer un análisis Psicrométrico.

- Se desprecia el peso y el volumen del contaminante presente en la corriente de aire.

Si existen altas concentraciones de sólidos o cantidades significativas de gases distintos al aire, deben efectuarse las correcciones para tener en cuenta su efecto.

2.5.2 Cambios de presión en el sistema.

Para secciones de ductos de área constante, la pérdida de presión total y la pérdida de presión estática se mantienen constantes.

En los puntos de transición en donde aumenta o disminuye la sección transversal, la pérdida de presión de velocidad disminuye de igual manera que la pérdida de presión total, pero la pérdida de presión estática puede disminuir o aumentar, dependiendo de la disminución o aumento de la sección transversal siguiente como se aprecia en la figura 10.

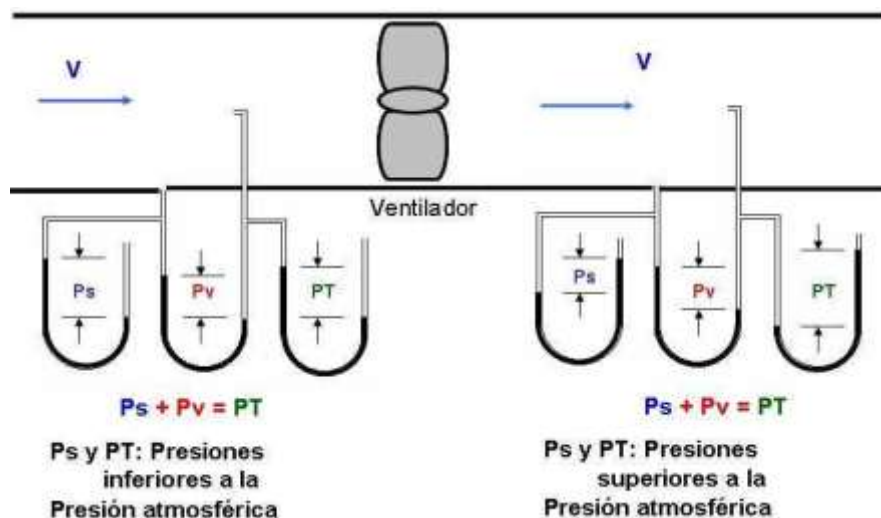


Fig. 10 Cambios de presión en el sistema

Análisis Psicrométrico: Se puede realizar de forma manual o con un instrumento que utiliza la diferencia de lecturas entre dos termómetros, uno con bulbo húmedo y el otro que tiene bulbo seco, para medir el grado de humedad o la humedad relativa del aire.

Una vez que el volumen de aire en cada punto es determinado y conocido, los ductos deben ser diseñados correctamente. Ductos redondos son preferidos porque ofrecen mayor uniformidad a la velocidad de transporte evitando cambios en el comportamiento de las partículas en el aire o gas y porque pueden soportar presiones estáticas más altas que los ductos cuadrados.

Una adecuada velocidad del gas dentro del ducto permitirá que el polvo sea transportado junto con él. Básicamente, en cualquier punto del ducto, la velocidad debe estar entre 15 m/s y 20 m/s, si la velocidad es menor, entonces se encontraría material segregado a lo largo de los ductos; en cambio, una velocidad muy alta, resultaría en abrasión en el ducto, principalmente en los cambios de dirección o de sección, en donde el perfil de velocidad del flujo tiene mucho que ver.

2.5.3 Pérdidas en ductos.

Para sistemas de desempolvado, es positivo tener codos con la relación $r/D > 1.5$, figura; si la relación es menor a esta cantidad, la abrasión puede reducir el tiempo de vida generando desgaste y pérdidas en el sistema. Frecuentemente se encuentran diseños de ductos con problemas en los codos y variaciones de secciones, causando un acelerado desgaste en las paredes del ducto.

A mayor número de puntos de succión en el sistema, resulta más difícil balancearlo para que sea efectivo. Es por esto que se recomienda que máximo sean 8 puntos por sistema de desempolvado.

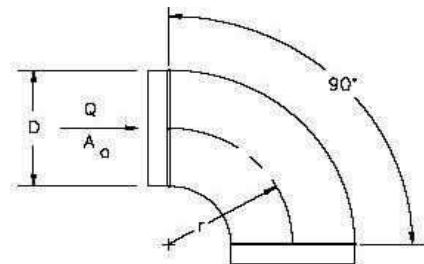


Fig. 11 Relación r/D de codos en ductos

Holcim Design Criteria recomienda para el diseño de codos y ramales en ductos, la utilización de la siguiente información en la figura 3 del Anexo 5.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
 www.uho.edu.cu

Sabiendo que es importante mantener la misma velocidad a lo largo de ducto por las consideraciones antes mencionadas, en cada punto de succión se manejará un caudal establecido y con una velocidad requerida igual para todo el sistema, entonces queda por determinar el área de la sección transversal del ducto.

Cada diseño de arreglos (codos, uniones, etc.) tiene su coeficiente de pérdidas, que deberá ser considerado en el diseño de la ductería junto a la presión de velocidad.

A medida que los diferentes ramales pertenecientes a los diferentes puntos de captura se unen para llegar al filtro como uno solo, el caudal aumenta, y si consideramos que la velocidad del flujo debe ser la misma, entonces el área deberá aumentar, lo que implica que el balance neto del flujo volumétrico debe ser igual a cero, como se observa en la figura 12.

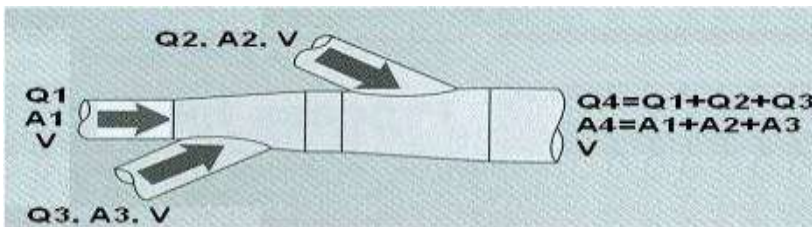


Fig.12 Velocidad constante en ducto

El caudal total para la red tuberías es:

$$\sum Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$$

$$\sum Q = 8500 \frac{m^3}{h} + 15050 \frac{m^3}{h} + 4250 \frac{m^3}{h} + 8500 \frac{m^3}{h} + 900 \frac{m^3}{h}$$

$$\sum Q = 37200 \frac{m^3}{h} = 10.33 \frac{m^3}{s}$$

Las pérdidas por accesorios, son comparadas con un equivalente en longitud del conducto, que resulte en una misma caída de presión de este accesorio, también se puede representar en términos de porcentajes de equivalencia en presión de velocidad, este método es utilizado en esta tesis, por tanto, la ecuación general para la presión estática a lo largo de un tramo de conducto será:

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

$$SP_c = VP_c + \sum K_f \times VP_c \quad (17)$$

Donde:

SP_c = Presión estática en el conducto

VP_c = Presión dinámica en el ducto

La caída de presión total a lo largo de la red de tuberías se da mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta P = SP_{salida} + SP_{entrada}$$

En el Anexo 5 se observa el cálculo y diseño de las pérdidas de presión en cada tramo de tubería y accesorios, utilizando los caudales con una velocidad constante de 15 m/s, mediante el software (ASHRAE Duct Fitting Database) y (Cálculo de Conductos v2.2.2011).

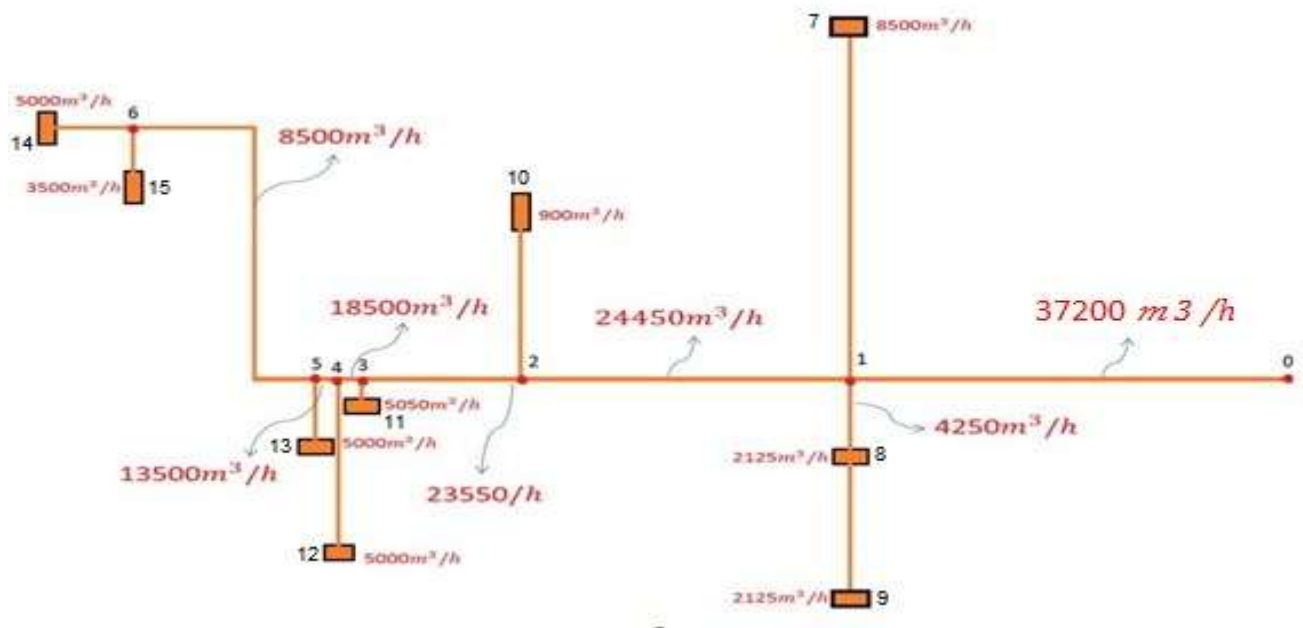


Fig. 13 Esquema de la red de tuberías.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Características de los tramos correspondientes a la red de tuberías circulares del sistema de extracción de polvo.

Tramo	L (m)	D(mm)	Q(m ³ /h)	V(m/s)	ΔP(Pa)
0-1	28.0	937	37650	15	54
1-2	12.0	759	24450	15	30
2-3	8.0	745	23550	15	20
3-4	1.0	660	18500	15.1	3
4-5	1.0	564	13500	15	4
5-6	15.4	448	8500	15	72
1-7	20.5	448	8500	15	96
1-8	3.0	317	4250	15	22
8-9	13	224	2125	15	144
2-10	8.5	146	900	14.9	160
3-11	1.0	345	5050	15	7
4-12	10.0	343	5000	15	66
5-13	2.0	343	5000	15	13
6-14	5.4	343	5000	15	36
6-15	2.0	287	3500	15	16

Tabla. 4 Red de tuberías

$$\Delta P_{red} = \sum \Delta P_{tramos} + \Delta P_{accesorios}$$

$$\Delta P_{red} = 743Pa + 163Pa$$

$$\Delta P_{red} = 906Pa = 92.35mmH_2O$$

(18)

2.6 Colector de polvo.

El cuerpo principal del colector tiene 3 secciones; una sección de aire limpio (plenum limpio) en la parte superior, la cámara de filtrado que contiene un número de mangas cilíndricas en la parte central, y una tolva para alojar el polvo en la parte inferior. Las tres partes mencionadas están separadas por una lámina que tiene como fin mantener la cámara de filtrado separada del plenum de aire limpio.

El aire contaminado entra al colector pasando por un difusor, que absorbe el impacto de las partículas debido a su velocidad al ingresar, distribuyendo el aire y reduciendo la velocidad. Al reducir la velocidad de las partículas, causa que las más pesadas se precipiten a la tolva para ser descargadas posteriormente fuera del filtro. El aire con las partículas más finas fluye hacia la unidad o cámara de filtrado depositando las partículas del polvo fino en la parte exterior de las mangas. El aire limpio continúa hacia el plenum limpio y finalmente llega a la atmósfera, figura 1 del Anexo 5.

Las mangas periódicamente se limpian por un momentáneo pulso de alta presión de aire comprimido que viene desde la parte limpia del filtro. Las flautas, ubicadas en base a un arreglo rectangular formando filas sobre cada fila de las mangas, son las encargadas de llevar el aire comprimido y generar el pulso.

El golpe de aire generado por el pulso se optimiza con el uso de venturis localizados en la parte superior de las mangas, que logra una distribución uniforme del pulso de aire a lo largo de la manga en las dos vías (ida y retorno).

2.6.1 Velocidad de Filtración (Relación aire-tela)

La velocidad de filtración para obtener la caída de presión total se le conoce como la relación gas tela, que se define como la razón entre el gas filtrado de un metro cúbico por minuto y el medio filtrante de un metro cuadrado de área; se expresa como:

$$\frac{A}{T} = V_f = \frac{Q \left[\frac{m^3}{min} \right]}{A_T [m^2]} \quad (19)$$

De donde Q es el caudal de diseño del colector y del sistema y A_T es el área total filtrante, que viene dada por:

$$A_{T1} = \pi \times C_m \times D_m \times L_m \quad (20)$$

Siendo C_m la cantidad de mangas en el filtro, D_m el diámetro de las mangas y L_m la longitud de las mangas, utilizando la ecuación 20 se obtiene:

$$A_T = \pi \times 252 \times 0.152 \times 3.02$$

$$A_T = 363,23m^2$$

Y con la ecuación 19 obtenemos la relación aire-tela, lo cual se ratifica con la tabla 1 del Anexo 6.

$$\frac{A}{T} = V_f = \frac{Q \left[\frac{m^3}{min} \right]}{A_T [m^2]}$$

$$\frac{A}{T} = V_f = \frac{620 \left[\frac{m^3}{min} \right]}{363,23 [m^2]}$$

$$\frac{A}{T} = V_f = 1.71 \frac{\left[\frac{m^3}{min} \right]}{[m^2]}$$

2.6.2 Criterio de selección para la tela de filtrado.

Existen dos grupos principales de textiles para el filtrado, el tejido y el no tejido (llamado también fieltro), figura. Cuando se trata del textil tejido, es posible conocer la porosidad debido a que lleva un patrón constante de construcción, mientras que el fieltro, tiene una porosidad infinita (mucho mayor que el textil tejido) debido a la falta de patrón en la costura. En este tipo de textil, la velocidad de filtración es muy alta y no aplica para los filtros de aire reverso porque la tensión que sufren las mangas al limpiar es mayor que en otros tipos de filtros.

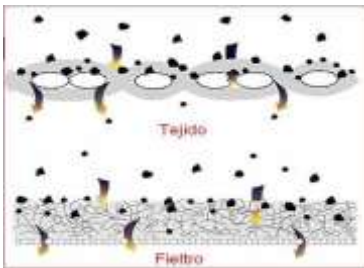


Fig.14 Tipos de textiles para mangas.

La selección del tejido es un aspecto sumamente importante para la operación de cualquier filtro de mangas. En el anexo 8 se tiene una tabla donde aparecen algunos de los tejidos en uso actual y proporciona información sobre límites de temperatura y de resistencia química. Dependiendo de la selección, el sistema funcionará correctamente durante la operación o presentará problemas. Entre los aspectos más importantes a considerar para la selección se tiene:

- Tipo de colector, particularmente su tipo de limpieza
- Temperatura
- Composición química de la mezcla gas/polvo
- Abrasividad del material

Además, el medio filtrante debe satisfacer las siguientes condiciones:

- Alta permeabilidad, para menores pérdidas
- Gran capacidad para soportar esfuerzos
- Estabilidad térmica a temperatura de operación

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

2.6.3 Dimensionamiento de mangas.

Las dimensiones de las mangas dependen de la eficiencia de limpieza y de las dimensiones de la cámara de filtrado. Generalmente el diámetro de las mangas se encuentra entre los 120mm y 160mm. Por efectos de estandarización por parte de los proveedores de mangas, la mayoría de los filtros deben coincidir para que solamente una medida y tipo de mangas sea utilizado.

A medida que aumenta la longitud de las mangas es posible que no queden perfectamente verticales en el montaje, causando que se toquen las mangas en la parte inferior de ellas, provocando desgaste debido a la fricción; además, las mangas más largas (>100") son más difíciles para limpiar en caso de que un agujero sea la causa del ingreso de polvo a la manga.

Se recomienda cumplir la siguiente relación para evitar el problema descrito anteriormente:

$$\frac{L_m[m]}{D_m[m]} \leq 25$$

Siendo L_m la longitud de la manga y D_m el diámetro de la manga para nuestro diseño se tiene una manga de $\varnothing = 5.98"$ y $L = 118.9"$

$$\frac{118.9}{5.98} \leq 25$$

$$19.88 \leq 25$$

2.6.4 Número de mangas por columna.

El número máximo de mangas por columna no debe ser mayor a 15 o 16, figura 15. Mientras mayor sea el número de mangas, la longitud de la flauta que transporta el aire comprimido para la limpieza será mayor, y con esto las pérdidas serán mayores al llegar a la última columna de mangas, afectando la limpieza.

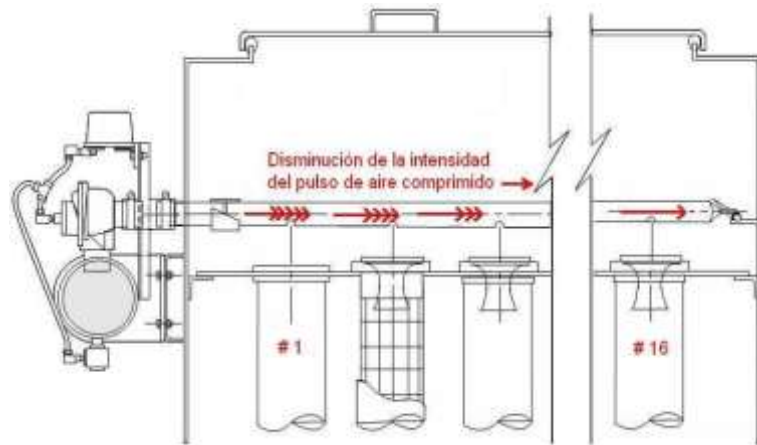


Fig. 15 Número de mangas por columna

Con los valores obtenidos anteriormente se procede a calcular el área de una manga del filtro:

$$A = (\pi \times \phi \times L)$$

$$A = (3.14 \times 0.1524 \times 3.02)$$

$$A = 1.45\text{m}^2$$

El número de mangas viene dado por la siguiente ecuación:

$$\# \text{ Mangas } 1 = \frac{Q \left[\frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right]}{\frac{A \left[\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \times \text{min}} \right]}{T} \div A \left[\text{m}^2 \right]} V \quad (21)$$

$$\# \text{ Mangas } 1 = \frac{620 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right]}{1.71 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \times \text{min}} \right]} \div 1.45$$

$$\# \text{ Mangas } 1 = 250.05 \text{ Unidades}$$

2.6.5 Canastillas.

Las canastillas son utilizadas con el fin de que en los períodos de limpieza o filtración, las mangas no colapsen manteniendo su forma cilíndrica a lo largo de la misma. Las canastillas son básicamente un alambrado, preferiblemente de una sola pieza y resistente a la corrosión, que tiene forma cilíndrica con anillos de forma circular a lo largo de la manga y con varillas verticales para completar la forma cilíndrica y poder alojarse dentro de la manga, figura 16.



Fig. 16 Canastilla para mangas

2.6.6 Fijación de las mangas.

Las mangas se aseguran a la lámina porta mangas en la parte superior de la cámara de limpieza. En ningún momento el seguro de la manga tiene la función de soportar el peso de la canastilla. La canastilla se soporta desde la lámina porta mangas en la parte superior de ésta. Los seguros de las mangas se utilizan para que éstas no se suelten durante la limpieza dejando a las canastillas sin superficie filtrante, figura 17.



Fig. 17 Fijación de mangas con fleje metálico.

2.6.7 Venturis.

Los venturis son componentes integrales en la mayoría de colectores del tipo pulse-jet, figura. Se encarga de dirigir el disparo de aire comprimido hacia el centro de la manga con el fin de prevenir abrasión provocada por posibles desalineamientos de las flautas.

Una buena configuración de los venturis garantiza un eficiente desprendimiento de la capa de polvo y ahorro en el consumo de aire comprimido al ser más eficiente la limpieza por cada disparo generado.

Si los venturis sufren algún desperfecto, el aire comprimido no alcanza la velocidad requerida para limpiar efectivamente las mangas.

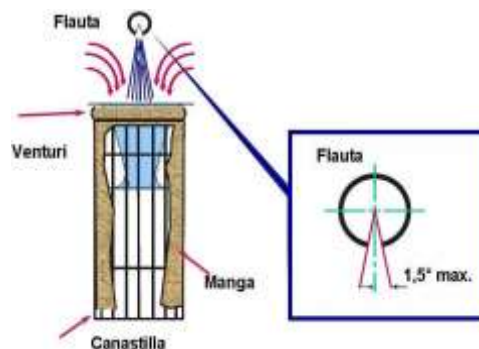


Fig. 18 Venturi para filtros de mangas pulse-jet.

2.6.8 Tolva de descarga.

Por lo general, el polvo tiende a aglomerarse en las paredes de la tolva debido a que las esquinas son rectas. Se recomienda que las esquinas de las tolvas sean redondeadas y que el ángulo de inclinación no sea menor a 55° .

Un problema frecuente que se presenta, es la aglomeración del material en tolvas piramidales debido a la pequeña abertura de descarga y a la baja inclinación de las paredes evitando que el material se mueva por gravedad con facilidad, figura 19.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Para este caso, se recomienda modificar la salida colocando un transportador sin fin directamente a la salida de la tolva en lugar de colocar primeramente compuertas doble péndulo o válvulas rotatorias, figura 20. Este caso es el que se utiliza en la planta porque tiene mayor eficiencia de recolección.

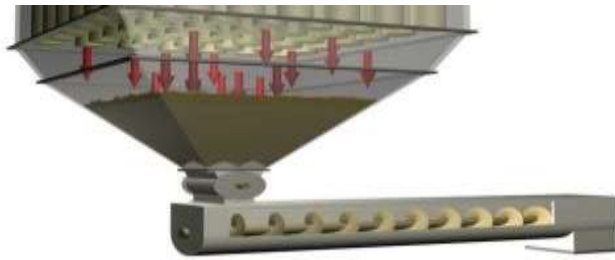


Fig. 19 Atoramiento de tolva

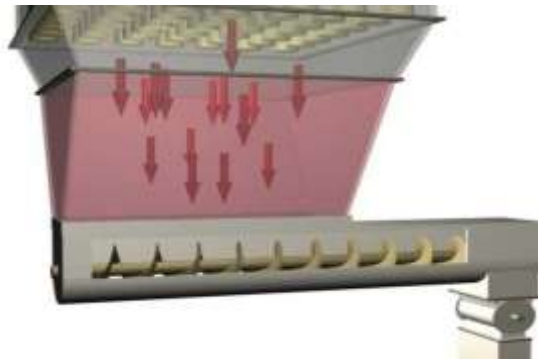


Fig. 20 Modificación de tolva

2.6.9 Transportador de Gusano sin fin.

Posterior a la tolva de descarga, se encuentra el transportador de tornillo como también se conoce que hace sello para evitar la entrada de aire falso no calculado en el sistema. El órgano de trabajo es el tornillo que gira en un canal cerrado cuya parte inferior tiene forma de semicilindro.

Por lo general para polvos se utiliza tornillos continuos, figura 20. Como la planta ya cuenta con un transportador sin fin se procede a realizar el cálculo para comprobar si se puede seguir utilizando el transportador existente o cambiarlo.



Fig.20 Transportador de tornillo sin fin continuo.

Para determinar el la máxima velocidad de rotación del eje del tornillo se comienza asumiendo un valor de diámetro de 250 mm.

$$n_{max} = \frac{A}{\sqrt{D}} \quad (22)$$

Donde:

A es una constante que se obtiene del Anexo 6, tabla 2.

Valores de coeficientes.

$$A = 45$$

Aplicando la ecuación obtenemos:

$$n_{max} = \frac{45}{\sqrt{0.25}}$$

$$n_{max} = 90 \text{ rpm}$$

Asumimos # 20rpm y se comprueba si los valores asumidos garantizan la capacidad requerida.

$$Q = 47 \times D^2 \times p \times n \times \varphi \times \gamma \times k \quad (23)$$

Donde:

Q es la productividad, Ton/h

D es el diámetro del tornillo, m (asumido)

p es el paso de la hélice, m. tabla 3, Anexo 4

$$p = 0.2$$

φ es el coeficiente de llenado de la sección transversal del tornillo, Anexo 6, tabla 3

$$\varphi = 0.25$$

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

γ es el peso específico del material, Ton/m

$$\gamma_{arcilla} = 0.95 \text{ kg/dm}^3 = 0.95 \text{ Ton/m}^3$$

k es el coeficiente que tiene en cuenta el ángulo de inclinación del tornillo respecto a la horizontal. Tabla 4, Anexo 6.

$$k = 1$$

n es el número de revoluciones por minuto del tornillo, rpm. Reemplazando los valores en la ecuación se obtiene:

$$n_{max} = \frac{A}{\sqrt{D}}$$

$$Q = 10.33 \text{ Ton/h}$$

Como se observa con $n = 20$ rpm, $D = 0.25$ m, y $p = 0.2$ m se satisface la cantidad requerida $Q = 2.79$ Ton/h

La potencia necesaria por el transportador a plena carga se calcula mediante la ecuación:

$$P = P_H + P_N + P_{St} \quad (24)$$

Donde:

P_H = potencia necesaria para el desplazamiento del material.

P_N = potencia para el accionamiento del tornillo en vacío.

P_{St} = potencia requerida por la inclinación.

Así pues, la potencia necesaria para desplazar el material se obtiene por la ecuación:

$$P_H = \frac{Q \times L \times w_o}{367} \quad (25)$$

Donde:

L es la longitud del transportador entre los ejes de los conductos de alimentación y descarga.

$$L = 8 \text{ m}$$

w_o es el coeficiente total de resistencia al movimiento, tabla 2 del Anexo 6.

$$w_o = 2.5$$

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
 www.uho.edu.cu

Al aplicar la ecuación 25, se encuentra la potencia asumida.

$$P_H = \frac{Q \times L \times w_o}{367}$$

$$P_H = 0.563kW = 0.77HP$$

La potencia P_N es muy pequeña comparada con la requerida para el desplazamiento del material. El valor es proporcional al diámetro y la longitud del tornillo. Aplicando la ecuación 26 se obtiene:

$$P_N = \frac{D \times L}{20} \tag{26}$$

$$P_N = 0.1kW = 0.14HP$$

La potencia requerida por la inclinación, en nuestro caso es 0 porque está en disposición horizontal.

$$P_{St} = \frac{D \times H}{367} \tag{27}$$

$$P_{St} = 0$$

La potencia total requerida por el transportador según la ecuación 24 es:

$$P = P_H + P_N + P_{St}$$

$$P = 0.77 + 0.14 + 0$$

$$P = 0.91HP$$

2.6.10 Válvulas a la salida.

Estas se pueden ubicar antes o posterior a la tolva de descarga, en este caso se ubicará luego de la descarga, aparte de controlar el flujo también hacen de sello para evitar la entrada de aire falso no calculado en el sistema. Se tienen las válvulas rotatorias y la pendulares (dobles o triples).



VALVULA ROTATORIA



VALVULA DOBLE PENDULAR

Fig. 21 Diferentes tipos de válvulas de salida.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Generalmente, las válvulas rotatorias se utilizan para el cemento y caliza; las pendulares se utilizan con el clínker. El mantenimiento de estos elementos es igual de importante que cualquier parte del sistema; hay que controlar el desgaste de las aletas de las válvulas rotatorias con respecto a la coraza y de igual manera, el movimiento de las pendulares debe ser libre. Algún trabamamiento de una pendular podría generar atoramientos en las tolvas si es que falló cerrada, o entrada constante de aire falso si falló abierta.

2.6.11 Cámara limpia.

El uso de una cámara de gas limpia en lugar de simples compuertas superiores resulta en una mejor práctica para mantenimiento. La altura de la cámara limpia debe ser mayor que la longitud de las mangas con el fin de poder sacar las canastillas hacia arriba y además para permitir el ingreso del personal de mantenimiento. En el Anexo 6, se puede observar el cálculo y diseño de un filtro de mangas con todas las consideraciones antes mencionadas.

2.7 Pérdidas en el filtro de mangas.

Las pérdidas de presión en el filtro de mangas se producen por dos factores: el primero es la caída de presión cuando los gases circulan por los ductos de entrada y salida, y el segundo es la caída de presión que se produce cuando los gases son filtrados por las mangas. De acuerdo a los valores experimentales que se obtiene al evaluar estas dos pérdidas de presión, se debe considerar que la primera es despreciable con respecto a la segunda. Por esta razón se procede a evaluar la pérdida de presión que se produce cuando los gases son filtrados al atravesar las mangas.

Cuando las mangas están limpias se produce una caída de presión determinada, la misma que va aumentando a medida que pasan los gases, ya que, se va acumulando el polvo en la superficie filtrante. Se debe entonces inyectar un chorro de aire comprimido cada determinado tiempo para limpiar las mangas y evitar que la caída de presión sea demasiado elevada.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
 www.uho.edu.cu

La pérdida de presión cuando las mangas están limpias, se la puede calcular con la siguiente fórmula empírica, determinada por Dennis & Klemm (1979) que propusieron la ecuación semiempírica para la eficiencia total en función del tiempo de operación entre los ciclos de limpieza.

$$(P_e)_{\Delta w} = 1045 \times V_f \times P_f^{-0.65} \quad (26)$$

Luego que transcurre cierto tiempo t , la caída de presión es:

$$\Delta P_f = (P_e)_{\Delta w} + K_2 \times W_o \times V_f \quad (27)$$

$$W_o = C_i \times V_f \times t \quad (28)$$

Donde:

C_i es la cantidad de polvo que circula por unidad de longitud de volumen de gas.

$$C_i = 0.01$$

V_f velocidad de filtración.

$$V_f = 1.5m/min$$

t es el tiempo en segundos entre los pulsos de aire comprimido que se aplican a una manga para su limpieza.

K_2 es la resistencia al flujo debido a la acumulación de polvo en la superficie de la manga, este valor se lo determina experimentalmente.

$$K_2 = 1.5 \times 10^5$$

P_f es la presión a la cual se inyectan los pulsos de aire comprimido, esta presión no debe pasar del rango de 415-830 kPa, para este caso específico es:

$$P_f = 552kPa$$

W_o es la masa del polvo como una función del tiempo.

Por lo tanto, aplicando la ecuación, la caída de presión luego de inyectar el pulso de aire para la limpieza de mangas es:

$$(P_e)_{\Delta w} = 1045 \times V_f \times P_f^{-0.65} \quad (29)$$

$$(P_e)_{\Delta w} = 1045 \times 0.025 \times 552^{-0.65}$$

$$(P_e)_{\Delta w} = 43.97mmH_2O$$

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
 www.uho.edu.cu

Si el tiempo de filtración de 5 minutos, es decir 300 segundos, aplicando la ecuación 28 tenemos que la cantidad de polvo por unidad de tiempo es:

$$W_o = C_i \times V_f \times t$$

$$W_o = 0.075 \text{ kg/m}^2$$

La diferencia de presión encontrada en el filtro de mangas aplicando la ecuación 27 es:

$$\Delta P_f = (P_s)_{\Delta w} + K_2 \times W_o \times V_f$$

$$\Delta P_f = 0.433 + \frac{(1.5 \times 10^5) \times 0.075 \times 0.025}{1000}$$

$$\Delta P_f = 0.71425 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_f = 72.81 \text{ mmH}_2\text{O}$$

2.8 Seleccción del ventilador.

Para la selección del ventilador se requiere calcular la caída de presión a lo largo del todo el sistema de extracción, que será la suma de la caída de presión de la red de tuberías y la caída de presión del colector de polvo, aplicando la ecuación 30, para la caída de presión en la red de tuberías.

$$\Delta P = VP_{red} + VP_{filtro} \tag{30}$$

$$SP_{vent} = 92.35 + 72.81$$

$$SP_{vent} = -165.16 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Donde:

SP_{vent} es la presión total necesaria del ventilador.

El valor negativo es debido a que representa la presión negativa que deberá originar el ventilador centrífugo, el mismo que se encuentra en el rango de los ventiladores de media presión que van desde 100-300mmH₂O.

La selección del ventilador se basará principalmente en la comparación de diferentes modelos (curvas de funcionamiento), proporcionando la eficiencia mecánica mayor posible en el punto de operación determinado. Todo lo anteriormente detallado depende del criterio de selección del diseñador.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

El ventilador a seleccionar, se colocara en la zona de aire limpio, en la parte superior del cuerpo del colector, por lo tanto debe cumplir las siguientes características:

- Tipo Centrifugo.
- De alabes hacia atrás (alta eficiencia).
- Operación con aire limpio, sin abrasión.
- Caída de presión Total= 165.16 mmH₂O = 1620.22Pa
- Temperatura de Operación: Entre 30 y 60°C.
- Caudal = 37500m³/h
- Eficiencia Mecánica: alrededor del 70%.
- Potencia Requerida:

La potencia de consumo adecuada que necesita el ventilador depende de la resistencia que debe vencer o caída de presión y del caudal que debe generar como sigue:

$$P = \frac{Q \times \Delta P}{3600 \times 75 \times \eta_t}$$

$$P = \frac{37500 \times 165.16}{3600 \times 75 \times 0.7}$$

$$P = 29.31\text{kW} = 39.85\text{HP}$$

Por factor espacio se tiene que reubicar el ventilador para ello se dispone de una tabla de las posibles posiciones de la salida de la boca de aspiración que pueden dividirse en posiciones normales y posiciones especiales, totalizando un número de 16, y todas ellas se muestran en el Anexo 7, figura 1.

En el sistema de limpieza Pulse-Jet es necesario saber cuántas válvulas solenoides son requeridas, normalmente la selección de una válvula de control se basa en el criterio de la relación de flujo Q (caudal) que se necesita producir, pero en nuestro caso el principal requerimiento es generar un pulso de aire comprimido muy corto en duración (de 0.1 a 0.3 segundos) constante.

2.9 Valoración Económica

Los costos de un sistema de extracción, son proporcionales a cuanta cantidad de polvo por unidad de tiempo se quiera recolectar, y estos a su vez al caudal de aspiración; a la longitud y diámetro de las tuberías. Por lo que es necesario, ubicar el colector lo más cercano posible a los puntos de emisión de polvo.

En el colector de polvo tipo Pulse Jet, el costo es proporcional al área de filtración, ya que mientras más área se necesite, las mangas deben ser de mayores dimensiones, como también el cuerpo del colector.

El presupuesto referencial para la implementación del proyecto se detalla a continuación. La empresa SACMI IMOLA S.C. es la encargada de proporcionar la venta de instalaciones de polvo por áreas de cada planta.

Propuesta de venta del sistema de eliminación de polvo compuesta por:

1. Filtro de mangas en tejido de fieltro poliéster.
2. Dispositivo de limpieza automática de las mangas mediante boquillas de aire comprimido con cuadro de control y programación.
3. Válvula de descarga del polvo.
4. Ventilador centrífugo aspirante completo de motor eléctrico.
5. Cuadro eléctrico de mando.
6. Caudal total de aire 37500m³/h.
7. Depresión total 300 mm H₂O.
8. Potencia total instalada 30 kW

Red de aspiración del polvo equipadas con:

9. Cañerías rígidas y flexibles, válvulas electroneumáticas de cierre y chimenea para descarga del aire depurado.

Cantidad	Descripción	Importe (EUR)
1	Instalación de aspiración	20.000,00
1	Red de aspiración	10.000,00

Tabla.5 Oferta del sistema de extracción de polvo.

CONCLUSIONES

1. Se logra obtener el proyecto de diseño del sistema extractor de material particulado en la planta de azulejos para la Empresa Cerámica Blanca de Holguín.
2. El uso de colectores Pulse-Jet representa un paso de avance para lograr mayores rendimientos y eficiencia en los sistemas de captación de partículas estudiadas.
3. Se da cumplimiento a las normas nacionales vigentes, relacionadas con la seguridad y salud en el trabajo (NC 19-01-40 de 1985 y NC 19-01-31 de 1982).
4. Es una necesidad el buen desempeño del software utilizado para los cálculos en los ductos, ya que permitirá satisfacer muchas necesidades complejas de diseño y análisis.

RECOMENDACIONES

1. Después de logrado este trabajo realizar el diseño bien detallado de los componentes que conforman un colector Pulse-Jet.
2. Continuar estudiando otras variantes de diseño de las redes de tuberías, por toda la planta.
3. Para los trabajadores dedicados a la recolección del polvo fugitivo, es importante que se encuentren bien protegidos ya que originan grandes problemas en la salud.
4. Realizar un plan de mantenimiento que garantice al máximo la vida útil y eficiencia del extractor de material particulado propuesto en esta investigación.
5. Considero necesario involucrar más al estudiante en la vida práctica, para mejorar su primera experiencia profesional junto a las personas con mayor experiencia laboral.

BIBLIOGRAFÍA

- 1-Normas nacionales vigentes relacionadas con la seguridad y salud en el trabajo. [Disponible desde el sitio web Normas Cubanas Online] [Visitado 20/4/2014].
- 2-Vian, Angel y Ocon, Joaquin (1952). Elementos de Ingeniería Química.
- 3-Cálculos y diseño de sistema de ventilación SODECA
- 4-Carrier. Distribución del aire (Segunda Parte) [Disponible desde el sitio web www.docuteca.net/manual-de-aire-acondicionado-Carrier].
- 5-W, David Bevirt (1990). HVAC Systems Duct Design
- 6-Carrasco, S (2004). Rediseño del Sistema de Aspiración en una Planta de Roca. [Trabajo de grado. Escuela de Ingeniería Mecánica de Carabobo].
- 7-Orrala Reyes, Alex Guiseppe (2010). [Diseño de un sistema de extracción de material particulado de la planta de arena para la empresa INTACO] [Disponible desde el sitio web www.dspace.ups.edu.ec/>...>Ingeniería Mecánica CUE-Tesis de Pregrado.pdf].
- 8-Análisis del tamaño de las partículas por tamizado en agregado fino y grueso. [Disponible desde el sitio web www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/.../granulometria]. [Visitado 15/04/2014].
- 9-Análisis granulométrico. [Disponible desde el sitio web www.cozumel.fi-a.unam.mx/pinilla/proyectos/2012-2/pe/05.pdf]
- 10-Cabrejos, Francisco y Rojas, Jorge (2004). [Transporte neumático de materiales sólidos y a granel].
- 11-Sistemas de purificación del aire. [Disponible desde el sitio Web CleanAir] [Consultado el 25/3/2014].
- 12-UCERSA engineering. [Revista del Medio Ambiente. Filtros Depuradores y Refrigeradores].
- 13-Colectores de polvo Pulse-Jet. [Disponible desde el sitio web www.quiminet.com] [Visitado 25/03/2014].
- 14- ASHRAE Duct Fitting Database [Programa para el cálculo de tuberías].

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

15-Equipos de manipulación de material a granel y sistemas de ingeniería. [Disponible desde el sitio web www.interempresas.net].

16-Sistemas colectores de polvos. [Disponible desde el sitio web www.taconsult.org/libreria/presentacion01.pdf].

17-Cerámica Industrial. Producción de pavimento y revestimiento cerámico. [[www.insht.es/InshtWeb/contenidos/Documentación/.../Tomo 3/84.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/contenidos/Documentación/.../Tomo%203/84.pdf)].

18-Cálculo básico de una instalación de transporte neumático. [Disponible desde el sitio web www.es.scribd/.../Cálculo-básico-de-una-instalación-de-transporte-neumático].

19-Cálculo y diseño de un filtro dinámico de un filtro tipo Pulse-Jet. [Disponible desde el sitio web www.cdts.spol.edu.ec/proyectos/documentos/filtros.pdf].

20-Ventiladores Axiales. [Disponible desde el sitio web [www.es.notices-pdf.com/ventiladores axiales.pdf](http://www.es.notices-pdf.com/ventiladores_axiales.pdf)].

21-Revista Cubana de Higiene y Epidemiología-Definiciones acerca del riesgo y sus implicaciones. [Disponible desde el sitio web Revista Cubana de Higiene Vol49. No.3].

22-Colectivo de autores. [Manual Libros de Tecnología Cerámica Blanca.] [Disponible en la Empresa Cerámica Blanca de Holguín, Libro 1y 2].

23-Braun, Fernando. [Ingeniería Química].

24- Holcim Group Support. Department the Holcim Desing Criteria. Fabric Dust Collection; pag.B1/29. [Disponible desde el sitio web www.holcim.com].

25- Catálogos de ventas del SACMI IMOLA S.C. [Disponible desde el sitio web www.sacmi.com].

Anexos

Anexo 1.

Ley de control de la contaminación

La Constitución de la República de Cuba, tiene como normas:

Código	Año	Título
NC 19-01-25	1982	SNPHT. Aire de la zona de trabajo. Determinación de plomo y sus compuestos inorgánicos
NC 19-01-26	1982	SNPHT. Aire de la zona de trabajo. Determinación de ácido sulfúrico
NC 19-01-27	1982	SNPHT. Aire de la zona de trabajo. Determinación de manganeso y sus compuestos inorgánicos
NC 19-01-28	1982	SNPHT. Aire de la zona de trabajo. Determinación de ozono
NC 19-01-29	1982	SNPHT. Aire de la zona de trabajo. Determinación de cloruro de hidrógeno
NC 19-01-30	1982	SNPHT. Aire de la zona de trabajo. Determinación de sulfuro de hidrógeno
NC 19-01-31	1982	SNPHT. Aire de la zona de trabajo. Determinación total de polvo
NC 19-01-32	1982	SNPHT. Aire de la zona de trabajo. Determinación de óxidos de nitrógeno
NC 19-01-33	1982	SNPHT. Aire de la zona de trabajo. Determinación de vapores de mercurio
NC 19-01-34	1982	SNPHT. Aire de la zona de trabajo. Determinación de dióxido de azufre
NC 19-01-35	1983	SNPHT. Aire de la zona de trabajo. Determinación de bisulfuro de carbono
NC 19-01-37	1987	SNPHT. Aire de la zona de trabajo. Determinación de arsénico y sus compuestos
NC 19-01-40	1985	SNPHT. Aire de la zona de trabajo. Polvos industriales. Determinación de di-óxido de silicio libre
NC 19-01-43	1984	SNPHT. Aire de la zona de trabajo. Determinación de anilina
NC 19-01-44	1984	SNPHT. Aire de la zona de trabajo. Determinación de aceites minerales
NC 19-01-45	1984	SNPHT. Aire de la zona de trabajo. Determinación de amoníaco
NC 19-01-46	1984	SNPHT. Aire de la zona de trabajo. Determinación de formaldehído
NC 19-01-47	1984	SNPHT. Aire de la zona de trabajo. Determinación de tolueno
NC 19-01-48	1984	SNPHT. Aire de la zona de trabajo. Determinación de aerosoles de níquel

NC 19-01-36	1983	SNPHT. Polvos industriales. Clasificación y requisitos de seguridad
-------------	------	---

Anexo 2.

Compuestos que Conforman las Arcillas		
Tipos	Compuestos	Formula
Cuarzo	Oxido de silicio	SiO ₂
Silicatos	Feldespatos	
	Espodumena	LiO ₂ .Al ₂ O ₃ .4SiO ₂
	Petalita	LiO ₂ .Al ₂ O ₃ .8SiO ₂
	Cinita	.Al ₂ O ₃ .4SiO ₂
	Circón	ZrO ₂ .SiO ₂
	Wollastonita	CaOSiO ₂
	Anortonita	CaO . Al ₂ O ₃ .2SiO ₂
	Olivino	2NaO .4SiO ₂
No silicatos	Bauxita	.Al ₂ O ₃ .NH ₂ O
	Magnetita	MgCO ₃ .
	Dolomita	MgCa (CO ₃ .) ₂

Tabla 1. Compuestos que conforman las arcillas

Formula de la pasta	
Materias Primas	Peso (kg)
Arcilla San Juan	2500
Arcilla Bayamo	2510
Feldespató Sódico	1560
Carbonato de calcio	650
Desechos	300
Total	7520

Tabla 1.1 Ficha técnica de carga de molino

Nota: Los desechos son los materiales que quedan de una molienda para otra.

Anexo 3.

Concentraciones de polvo en el área de ATM



Fig.1



Fig.2



Fig.3 Parte superior de un elevador de cangilones.



Fig.4 Parte inferior de un elevador de cangilones.



Fig.5



Fig.6 Zaranda vibratoria.

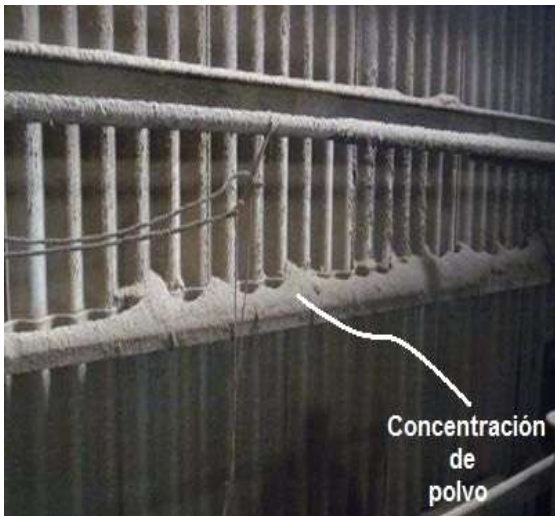


Fig.7 Silos de envejecimiento del polvo.



Fig. 8 Elevador de cangilones

Anexo 4.

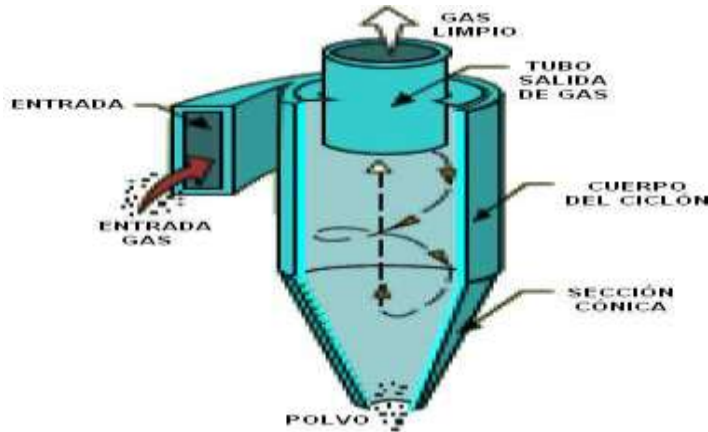


Fig.1 Ciclón

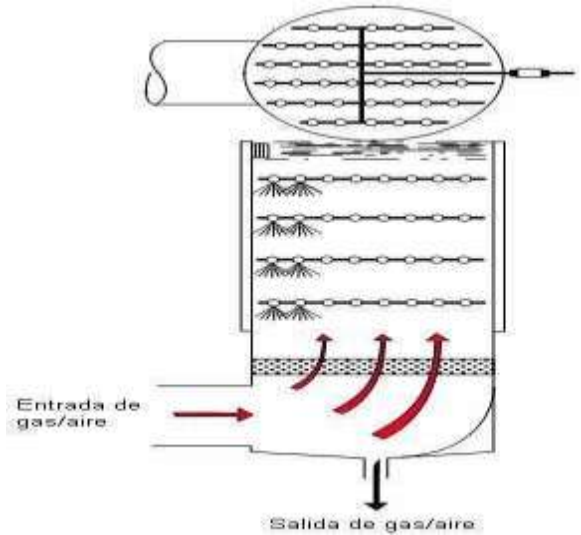


Fig. 2 Colectores de procesos húmedos (Torres de atomización)

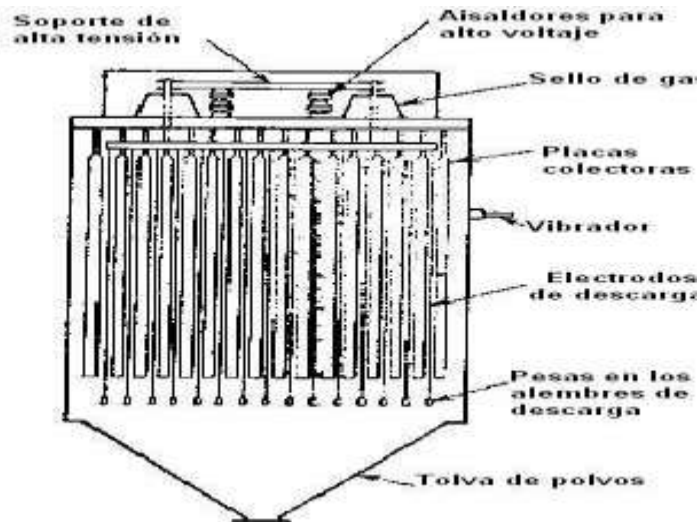


Fig. 3 Precipitador electrostático

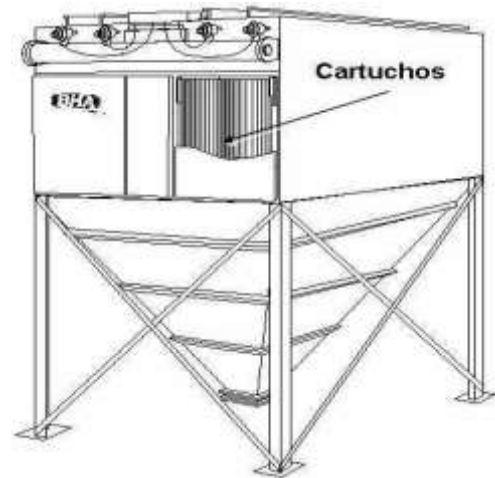


Fig. 4 Filtro de cartuchos

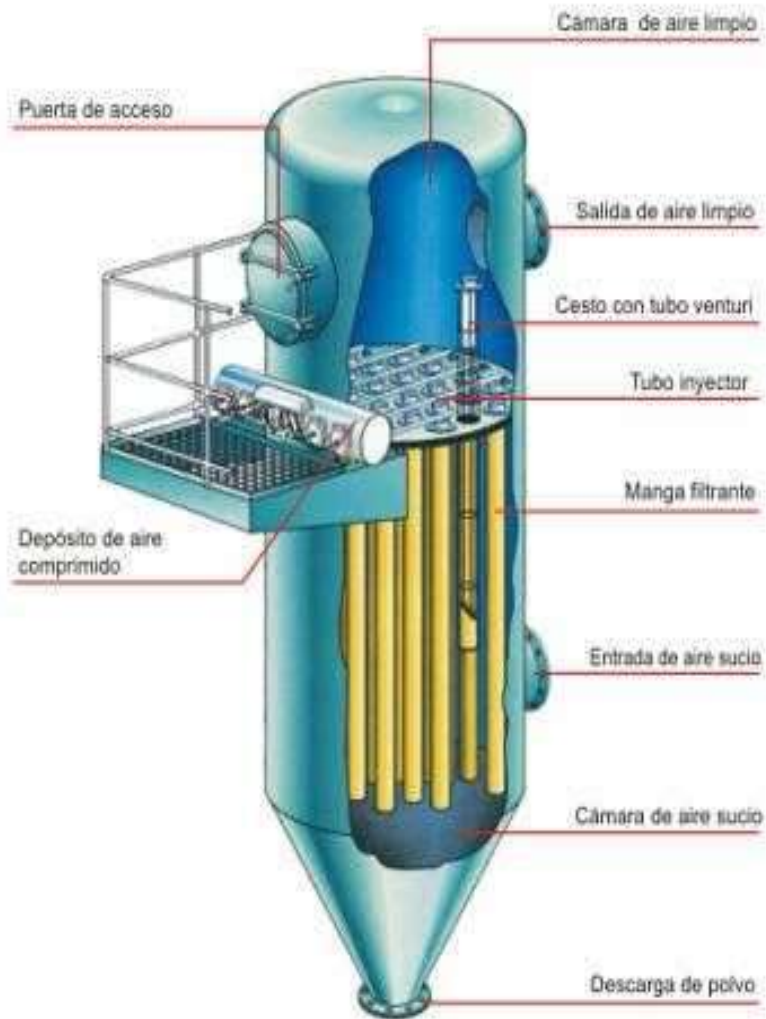


Fig. 5 Filtro de mangas

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Por su principio de aplicación.



Fig. 6 Filtro auxiliar



Fig. 7 Filtro de proceso

Por su diseño de filtración.

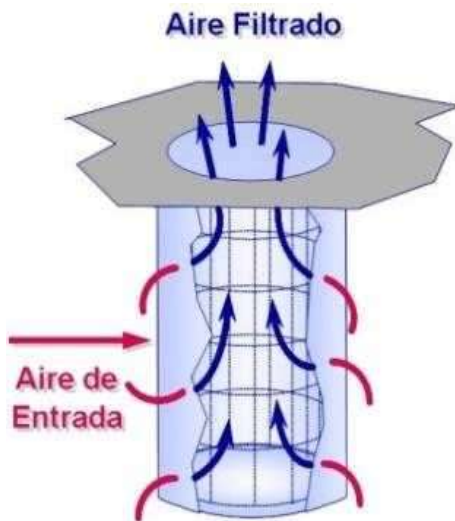


Fig. 8 Filtrado exterior

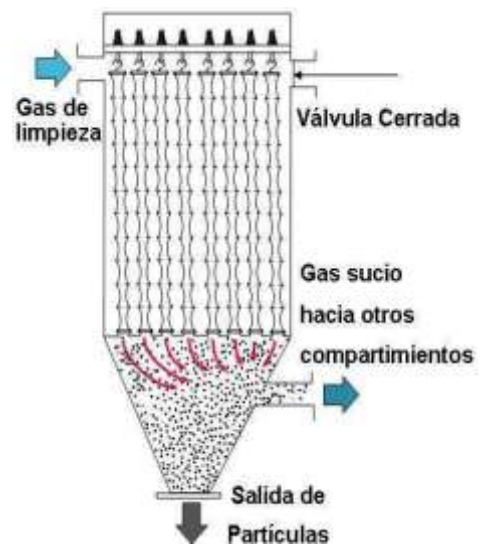


Fig. 9 Filtrado interior

Por la presión en el sistema.



Fig. 10 Sistema de presión positiva



Fig. 11 Sistema de presión negativa

	Pesos	Ciclones	Filtro de proceso húmedo	Precipitador electrostático	Filtro de mangas	Filtro de cartucho
Costo de inversión (alto -1, medio 0, bajo 1)	3	0	0	-1	1	1
Aplicación para filtro auxiliar (si: 1, no: 0)	7	0	0	0	1	1
Continuidad durante limpieza (si: 1, no: 0)	5	0	0	1	1	1
Volumen aire permisible (menor volumen -1, medio 0, mayor volumen +1)	4	1	0	1	1	0
Aspectos secundarios de limpieza (dificultad en limpieza -1, normal 0, facilidad +1)	1	-1	-1	0	1	1
Consumo de agua (mayor consumo -1, normal 0, menor consumo +1)	2	1	-1	1	1	1
Eficiencia (menos eficiente -1, medio 0, más eficiente +1)	6	0	-1	1	1	1
Total		5	-9	14	28	24

Tabla 1 Comparación entre 5 colectores

Tipos de filtros de mangas.

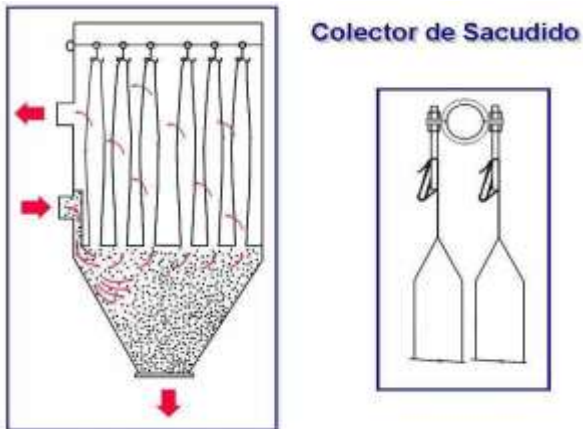


Fig 12 Filtro de mangas de sacudido

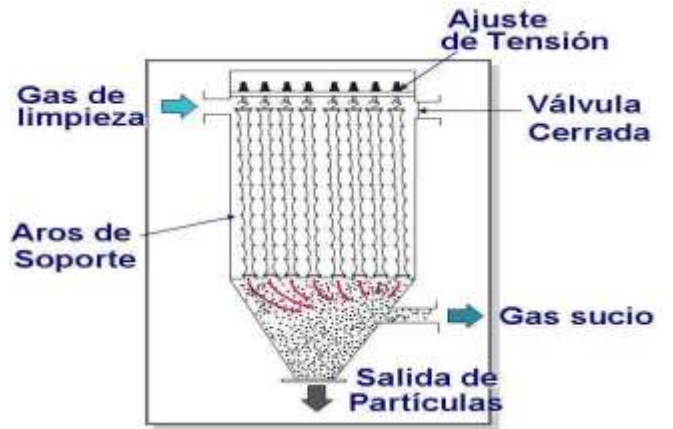


Fig. 13 Filtro de mangas de aire reverso

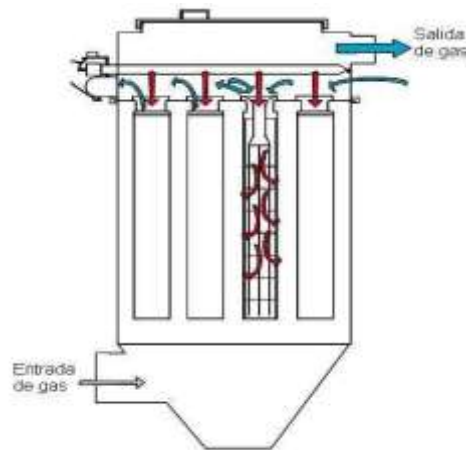


Fig. 14 Filtro de mangas tipo pulse jet



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Por su secuencia de limpieza.

	Pesos	Sacudido	Aire reverso	Pulse Jet
Cantidad de compartimientos (1: 1, 2: 0, más de dos: -1)	3	0	-1	1
Limpieza continua en línea (si: 1, fuera de línea: 0, no: -1)	8	-1	0	1
Acumulación material en salida (si: -1, no: 1)	1	-1	1	1
Mayor necesidad de mantenimiento (si: -1, no: 1)	6	-1	0	1
Fallo de mangas (alto: -1, medio: 0, bajo: 1)	7	-1	0	1
Tamaño de mangas (pequeñas: 1, grandes: -1)	2	1	-1	1
Relación aire/tela (mayor: 1, menor: -1, media: 0)	5	0	-1	1
Tamaño del filtro (compacto: 1, grande: -1)	4	1	-1	1
Total		-16	-13	36

Tabla 2 Comparación entre diferentes filtros de mangas

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Diseño

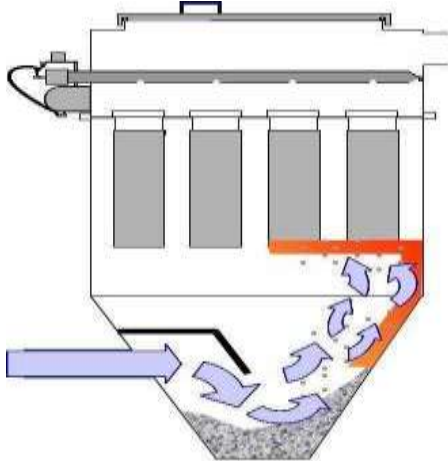


Fig. 15 Diseño típico en la entrada del filtro

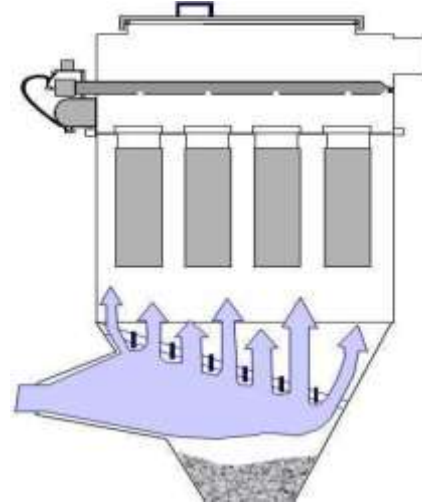


Fig. 16 Diseño mejorado a la entrada del filtro



Fig. 17 Dámpers

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Anexo 5.

Equipo	Tam. (mm)	m³/h	Valores/consideraciones				
			A	B	C		
BANDAS TRANSPORTADORAS 	850	4250	1500	1750	1000	m³/h	
	850	5250	2000	2250	1000		
	1000	6500	2500	2750	1250		
	1200	7750	3000	3250	1500		
	1400	8750	3500	3750	1500		
	1600	10'000	4000	4250	1750		
ALIMENTADORES DE PLACAS 	800	6500	3500	2000	1000	m³/h	
	1000	7500	4000	2500	1000		
	1200	8750	4500	3000	1250		
	1400	9750	5000	3500	1500		
	1600	10'000	5500	4000	1500		
ALIMENTADORES PIVOTANTES 	800		2500	9000	9000	m³/h	
	1000		3000	10'000	10'000		
	1200		3500	11'000	11'000		
	1400		4000	12'000	12'000		
ELEVADORES 	400		CADENA m³/h		BANDA m³/h		m³/h
	500		A	B	A	B	
	630		1250	1000	2000	1000	
	800		1500	1000	2250	1000	
	1000		2000	1250	2500	1250	
	1250		2500	1250	3000	1250	
	1600		3000	1500	3500	1500	
		3500	1500	4500	1500		
		4000	1500	6000	1500		
RASCADORES Y TORNILLOS SIN FIN	200	500	POR CADA 10 METROS				
	250	500					
	315	500					
	400	750					
	500	750					
	630	1000					
	800	1000					
1000	1250						
DESGLIZADORES			120% DEL SOPLADOR				
MALLA CLASIFICADORA		50	POR TON/H ABIERTO				
ZARANDA VIBRATORIA		450	POR M2 CERRADO				
MALLA GIRATORIA		600	POR M2 CERRADO				

Tabla 1.



Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

EQUIPO A DESEMPOLVAR	CAUDAL	DIAM. DUCTO	LONGITUD	PUNTO	LONG. EXISTENTE
Tolva de recepcion	800 m ³ /h	ø 150 mm.	10.00 m.	D1	---
Elevador de cadena 22x55	2000 m ³ /h	ø 200 mm.	2.00 m.	D2	2.00 m.
BT1 36" (parte inferior)	1500 m ³ /h	ø 200 mm.	12.00 m.	D3	6.00 m.
Triturador de Impacto SANDVIK	3000 m ³ /h	ø 250 mm.	13.00 m.	D4	13.00 m.
1era Cribas MOGENSEN-SEL 2056	3000 m ³ /h	ø 250 mm.	7.00 m.	D5	---
2da Cribas MOGENSEN-SEL 2056	3000 m ³ /h	ø 250 mm.	9.00 m.	D6	9.00 m.
3ra Cribas MOGENSEN-SEL 2056	3000 m ³ /h	ø 250 mm.	9.00 m.	D7	5.00 m.
BT1 36" (parte superior)	1500 m ³ /h	ø 200 mm.	6.00 m.	D8	6.00 m.
BT2 24"	1250 m ³ /h	ø 200 mm.	3.50 m.	D9	---
Banda 24" (salida PAI)	1250 m ³ /h	ø 200 mm.	3.00 m.	D10	---
Elevador de cadena 34x64	2000 m ³ /h	ø 200 mm.	8.50 m.	D11	---
Ducto Principal	22300 m ³ /h	ø 772 mm.	5.00 m.	D12	---
Ducto Secundario	18000 m ³ /h	ø 600 mm.	4.00 m.	D13	---
DUCTO Terciario	12000 m ³ /h	ø 500 mm.	4.00 m.	D14	---
Ducto Cuaternario reduccion	2000 m ³ /h	ø 450 mm.	2.50 m.	D15	2.50 m.
Ducto Union D1 D2 D3	4300 m ³ /h	ø 300 mm.	6.00 m.	D16	---
Ducto Union D8 D9 D10	4000 m ³ /h	ø 280 mm.	14.00 m.	D17	---
Ducto Union D6 D7 y D8 D9 D10	10000 m ³ /h	ø 450 mm.	4.00 m.	D18	3.00 m.

Tabla 2.

Equipo	Tam. (mm)	m ³ /h	Recomendaciones
Alimentador Vibratorio	600	900	
	800	1'500	
	1'000	2'400	
	1'200	3'600	
Bomba de Aire Comp.		60	Por t } Por t } 1.5 veces de volumen Por t } de aire comprimido Por t }
Bomba		50	
Recipiente de Presión		40	
Buhler		30	
Recipiente de Almacenamiento	Grande > 100 t/h	1'000	Alimentación Mecánica
	Pequeño a 100 t/h	500	Alimentación Mecánica
Almacenamiento Clinker		12 - 20'000	Silo Cilíndrico
		40 - 60'000	Silo Circular (Cúpula Clinker)
Trituradora de Rodillo	to 50 t/h	36	Por t
	50 - 100 t/h	60	Por t
Trituradora de Mandíbula	to 100 t/h	60	Por t
	100 - 400 t/h	45	Por t
	400 - 700 t/h	30	Por t
Trit. de Martillo	to 100 t/h	120	Por t
Trituradora de Impacto	to 100 t/h	90	Por t
	to 300 t/h	60	Por t
	> 300 t/h	40	Por t
Trituradora Giratoria o Trituradora de Cono	to 100 t/h	60	Por t
	100 - 400 t/h	45	Por t
	400 - 700 t/h	30	Por t
Maquina de Embalaje		8'000	8-Empacador de Boquilla Rotativa
		6'000	6-Empacador de Boquilla Rotativa
		300	Alimentador
		2'500	Por línea de envasadora de embudo
Carga Movil		1'500	Giro de Pantalla 1 x 2.5m para llevar Cinta Transportadora la bolsa de Unidad de Limpieza
		2'000	
		2'500	
		4'000	
Carga de Cabeza		5'000	Aire 400 mm
		5'000	Tornillo 1630/1800
		1'500	Tolvas Moviles
Cisterna de Vehiculos		4'000	Dobles Articulados
		900	Cement 300 m ³ /h
		1'500	Cement 600 m ³ /h
Cisterna de Vehiculos		12'000	Clinker 300 m ³ /h
		540 - 660	Ruta 60 t/h at 2.5 bar
		660	Tren 60 t/h at 2.5 bar

Tabla 3.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

VELOCITY PRESSURES FOR DIFFERENT VELOCITIES - STANDARD AIR									
FROM: $V = 4005 \sqrt{VP}$					$V =$ VELOCITY FPM $VP =$ VELOCITY PRESSURE, INCHES OF WATER				
VP	V	VP	V	VP	V	VP	V	VP	V
0.01	400	0.52	2896	1.03	4064	1.54	4070	2.05	5734
0.02	565	0.33	2816	1.04	4084	1.55	4086	2.06	5748
0.03	684	0.54	2943	1.05	4103	1.56	4092	2.07	5762
0.04	801	0.55	2970	1.06	4123	1.57	4098	2.08	5776
0.05	896	0.56	2997	1.07	4142	1.58	4104	2.09	5790
0.06	981	0.57	3024	1.08	4162	1.59	4110	2.10	5804
0.07	1060	0.58	3050	1.09	4181	1.60	4116	2.11	5817
0.08	1133	0.59	3076	1.10	4200	1.61	4122	2.12	5831
0.09	1201	0.60	3102	1.11	4219	1.62	4128	2.13	5845
0.10	1266	0.61	3127	1.12	4238	1.63	4134	2.14	5859
0.11	1328	0.62	3153	1.13	4257	1.64	4140	2.15	5872
0.12	1387	0.63	3179	1.14	4276	1.65	4146	2.16	5886
0.13	1444	0.64	3204	1.15	4295	1.66	4152	2.17	5899
0.14	1498	0.65	3229	1.16	4314	1.67	4158	2.18	5913
0.15	1551	0.66	3254	1.17	4332	1.68	4164	2.19	5927
0.16	1602	0.67	3279	1.18	4350	1.69	4170	2.20	5940
0.17	1651	0.68	3303	1.19	4368	1.70	4176	2.21	5954
0.18	1699	0.69	3327	1.20	4386	1.71	4182	2.22	5967
0.19	1746	0.70	3351	1.21	4405	1.72	4188	2.23	5981
0.20	1791	0.71	3375	1.22	4423	1.73	4194	2.24	5994
0.21	1835	0.72	3398	1.23	4442	1.74	4200	2.25	6008
0.22	1879	0.73	3422	1.24	4460	1.75	4206	2.26	6021
0.23	1921	0.74	3445	1.25	4478	1.76	4212	2.27	6034
0.24	1962	0.75	3468	1.26	4495	1.77	4218	2.28	6047
0.25	2003	0.76	3491	1.27	4513	1.78	4224	2.29	6061
0.26	2042	0.77	3514	1.28	4531	1.79	4230	2.30	6074
0.27	2081	0.78	3537	1.29	4549	1.80	4236	2.31	6087
0.28	2119	0.79	3560	1.30	4566	1.81	4242	2.32	6100
0.29	2157	0.80	3582	1.31	4583	1.82	4248	2.33	6113
0.30	2193	0.81	3604	1.32	4601	1.83	4254	2.34	6128
0.31	2230	0.82	3625	1.33	4619	1.84	4260	2.35	6140
0.32	2266	0.83	3647	1.34	4636	1.85	4266	2.36	6152
0.33	2301	0.84	3669	1.35	4653	1.86	4272	2.37	6164
0.34	2335	0.85	3690	1.36	4671	1.87	4278	2.38	6177
0.35	2369	0.86	3709	1.37	4688	1.88	4284	2.39	6190
0.36	2403	0.87	3729	1.38	4705	1.89	4290	2.40	6202
0.37	2436	0.88	3748	1.39	4722	1.90	4296	2.41	6214
0.38	2469	0.89	3767	1.40	4739	1.91	4302	2.42	6226
0.39	2501	0.90	3786	1.41	4756	1.92	4308	2.43	6238
0.40	2533	0.91	3804	1.42	4773	1.93	4314	2.44	6250
0.41	2565	0.92	3822	1.43	4790	1.94	4320	2.45	6262
0.42	2595	0.93	3840	1.44	4806	1.95	4326	2.46	6274
0.43	2626	0.94	3858	1.45	4823	1.96	4332	2.47	6286
0.44	2656	0.95	3874	1.46	4840	1.97	4338	2.48	6298
0.45	2687	0.96	3894	1.47	4856	1.98	4344	2.49	6310
0.46	2716	0.97	3912	1.48	4873	1.99	4350	2.50	6322
0.47	2746	0.98	3930	1.49	4889	2.00	4356	2.50	6438
0.48	2773	0.99	3945	1.50	4905	2.01	4362	2.70	5581
0.49	2804	1.00	4005	1.51	4921	2.02	4368	2.80	6702
0.50	2832	1.01	4025	1.52	4938	2.03	4374	2.90	6820
0.51	2860	1.02	4045	1.53	4954	2.04	4380	3.00	6937
								14.00	12665
								11.00	13283
								12.00	13874
								13.00	14440
								15.00	14775
								14.00	14986

Tabla 4 Presión dinámica para diferentes velocidades

RANGO DE VELOCIDADES DE CAPTURA		
CONDICIÓN DE LA DISPERSIÓN DEL CONTAMINANTE	APLICACIÓN	VELOCIDAD DE CAPTURA (m/s)
Sueltas sin velocidad en el aire	Evaporación de tanques	0.25 a 0.5
Sueltas con velocidad baja del aire	Transportadores de baja velocidad	0.5 a 1.0
Generación activa dentro de la zona de generación	Chutes de carga/descarga de transportadores, trituradoras	1.0 a 2.5
Alta velocidad dentro de la zona	Molienda, sandblasting	2.5 a 10

Tabla 5 Rango de velocidades de captura

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

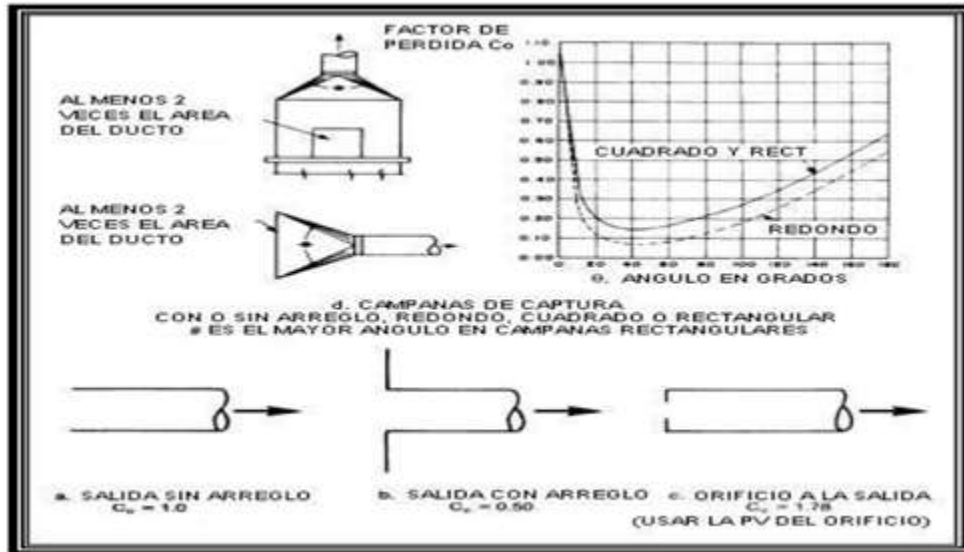


Fig. 1 Rango de velocidades de captura

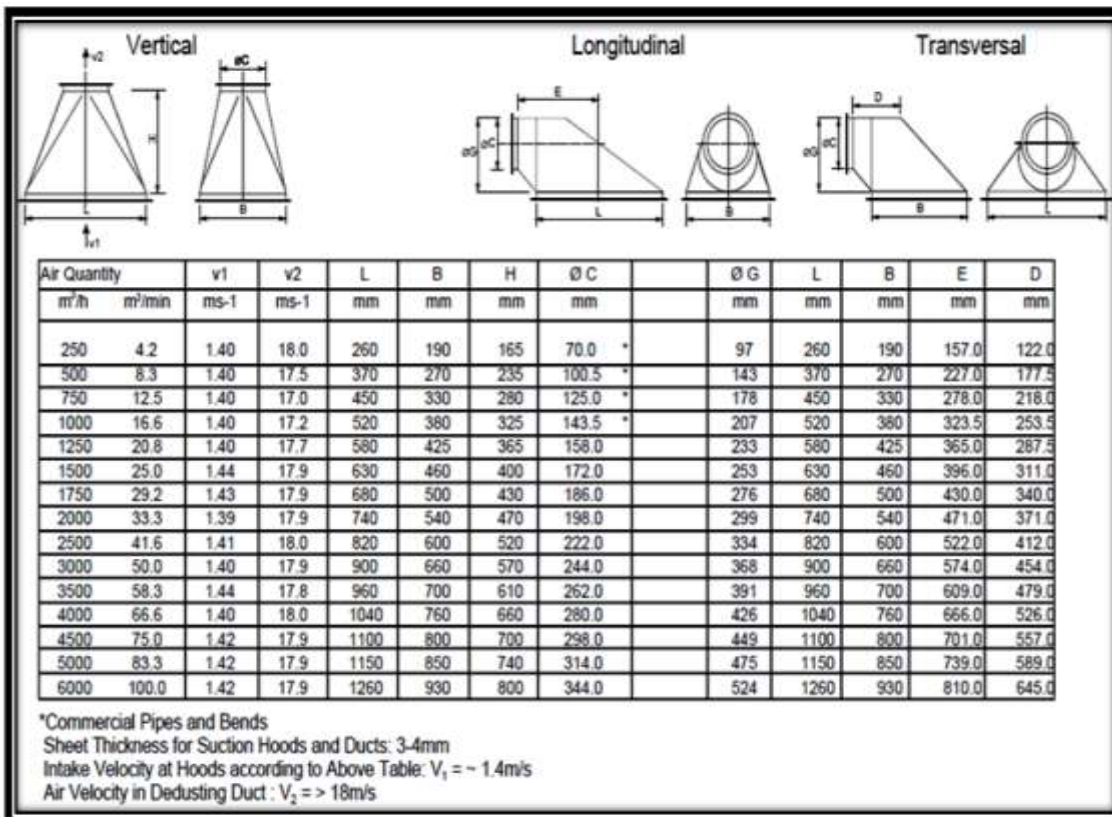


Fig. 2 Dimensiones para la construcción de las campanas

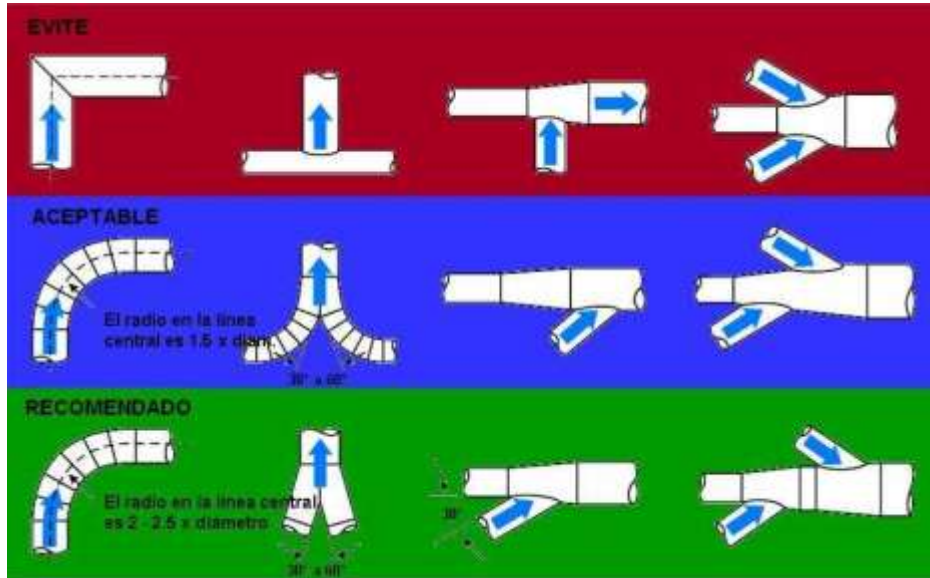


Fig. 3 Diseño de ductos

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Cálculos

Tramo 0-1

Características del aire		Características del conducto	
Caudal:	37200 m ³ /h	Material:	Acero galvanizado
Temperatura:	30 °C	Rugosidad absoluta:	0.15 mm
Densidad:	1.165 kg/m ³	Método de Cálculo	
Viscosidad cinemática:	15 × 10 ⁻⁶ m ² /s	<input type="checkbox"/> Pérdida de presión: 2.02 Pa/m	
Conducto circular			
<input type="checkbox"/> ϕ : 937 mm		<input checked="" type="checkbox"/> Velocidad del aire: 15 m/s	
		Área de la sección: 6895.6 cm ²	
		Perímetro: 294 cm	
Conducto ovalado			
<input type="checkbox"/> A: 1106 mm		<input type="checkbox"/> Velocidad del aire: 14.79 m/s	
<input type="checkbox"/> B: 737 mm		Área de la sección: 6895.6 cm ²	
<input type="checkbox"/> Relación de forma: 1.5		<input type="checkbox"/> Perímetro: 305 cm	
Conducto rectangular			
<input type="checkbox"/> A: 857 mm		<input type="checkbox"/> Velocidad del aire: 14.07 m/s	
<input type="checkbox"/> B: 857 mm		Área de la sección: 7344.5 cm ²	
<input type="checkbox"/> Relación de forma: 1		<input type="checkbox"/> Perímetro: 343 cm	

Input		Output	
Diameter (D, mm)	937	Velocity (V, m/s)	15.0
Length (L, m)	28.0	Vel Pres at Vo (Pv, Pa)	127
Absolute Roughness (e, mm)	0.15	Friction Factor (f)	0.0142
Flow Rate (Q, L/s)	10333	Pressure Loss (Pa)	54

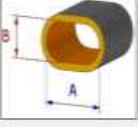

Tramo 1-2

Características del aire		Características del conducto	
Caudal:	24450 m ³ /h	Material:	Acero galvanizado
Temperatura:	30 °C	Rugosidad absoluta:	0.15 mm
Densidad:	1.165 kg/m ³	Método de Cálculo	
Viscosidad cinemática:	16 × 10 ⁻⁶ m ² /s	<input type="checkbox"/> Pérdida de presión: 2.6 Pa/m	
Conducto circular			
<input type="checkbox"/> ϕ : 759 mm		<input checked="" type="checkbox"/> Velocidad del aire: 15 m/s	
		Área de la sección: 4524.5 cm ²	
		Perímetro: 239 cm	
Conducto ovalado			
<input type="checkbox"/> A: 896 mm		<input type="checkbox"/> Velocidad del aire: 14.82 m/s	
<input type="checkbox"/> B: 697 mm		Área de la sección: 4584.3 cm ²	
<input type="checkbox"/> Relación de forma: 1.5		<input type="checkbox"/> Perímetro: 247 cm	
Conducto rectangular			
<input type="checkbox"/> A: 634 mm		<input type="checkbox"/> Velocidad del aire: 14.1 m/s	
<input type="checkbox"/> B: 634 mm		Área de la sección: 4816.4 cm ²	
<input type="checkbox"/> Relación de forma: 1		<input type="checkbox"/> Perímetro: 278 cm	

Input		Output	
Diameter (D, mm)	759	Velocity (V, m/s)	15.0
Length (L, m)	12	Vel Pres at Vo (Pv, Pa)	127
Absolute Roughness (e, mm)	0.15	Friction Factor (f)	0.0149
Flow Rate (Q, L/s)	6791.6	Pressure Loss (Pa)	30

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Tramo 2-3

Características del aire		Características del conducto	
Caudal: 23500 m ³ /h	Temperatura: 30 °C	Material: Acero galvanizado	Rugosidad absoluta: 0.15 mm
Densidad: 1.165 kg/m ³	Viscosidad cinemática: 15 x 10 ⁻⁶ m ² /s	Método de Cálculo	
<input type="checkbox"/> Pérdida de presión: 2.66 Pa/m		<input checked="" type="checkbox"/> Velocidad del aire: 15 m/s	
Conducto circular		Área de la sección: 4369.2 cm ²	
<input type="checkbox"/> Ø: 745 mm		Perímetro: 234 cm	
Conducto ovalado		Velocidad del aire: 14.82 m/s	
<input type="checkbox"/> A: 879 mm	<input type="checkbox"/> B: 596 mm	Área de la sección: 4414 cm ²	
<input type="checkbox"/> Relación de forma: 1.5		Perímetro: 243 cm	
Conducto rectangular		Velocidad del aire: 14.06 m/s	
<input type="checkbox"/> A: 682 mm	<input type="checkbox"/> B: 682 mm	Área de la sección: 4651.2 cm ²	
<input type="checkbox"/> Relación de forma: 1		Perímetro: 273 cm	

Input		Output	
Diameter (D, mm)	745	Velocity (V, m/s)	15.0
Length (L, m)	8	Vel Pres at Vo (Pv, Pa)	127
Absolute Roughness (e, mm)	0.15	Friction Factor (f)	0.0149
Flow Rate (Q, L/s)	6541.6	Pressure Loss (Pa)	20

Tramo 3-4

Características del aire		Características del conducto	
Caudal: 18500 m ³ /h	Temperatura: 30 °C	Material: Acero galvanizado	Rugosidad absoluta: 0.15 mm
Densidad: 1.165 kg/m ³	Viscosidad cinemática: 15 x 10 ⁻⁶ m ² /s	Método de Cálculo	
<input type="checkbox"/> Pérdida de presión: 3.07 Pa/m		<input checked="" type="checkbox"/> Velocidad del aire: 15 m/s	
Conducto circular		Área de la sección: 3421.2 cm ²	
<input type="checkbox"/> Ø: 660 mm		Perímetro: 207 cm	
Conducto ovalado		Velocidad del aire: 14.83 m/s	
<input type="checkbox"/> A: 779 mm	<input type="checkbox"/> B: 519 mm	Área de la sección: 3465 cm ²	
<input type="checkbox"/> Relación de forma: 1.5		Perímetro: 215 cm	
Conducto rectangular		Velocidad del aire: 14.09 m/s	
<input type="checkbox"/> A: 604 mm	<input type="checkbox"/> B: 604 mm	Área de la sección: 3649.2 cm ²	
<input type="checkbox"/> Relación de forma: 1		Perímetro: 242 cm	

Input		Output	
Diameter (D, mm)	660	Velocity (V, m/s)	15.1
Length (L, m)	1.0	Vel Pres at Vo (Pv, Pa)	128
Absolute Roughness (e, mm)	0.15	Friction Factor (f)	0.0153
Flow Rate (Q, L/s)	5152.7	Pressure Loss (Pa)	3

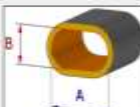

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Tramo 4-5

Características del aire		Características del conducto	
Caudal: 13500 m ³ /h	Temperatura: 30 °C	Material: Acero galvanizado	Rugosidad absoluta: 0.15 mm
Densidad: 1.185 kg/m ³	Viscosidad cinemática: 16 × 10 ⁻⁶ m ² /s	Método de Cálculo	
Conducto circular		<input type="checkbox"/> Pérdida de presión: 3.71 Pa/m	
<input type="checkbox"/> Ø: 564 mm		<input checked="" type="checkbox"/> Velocidad del aire: 15 m/s	Área de la sección: 2498.3 cm ²
			Perímetro: 1.77 cm
Conducto ovalado		<input type="checkbox"/> Velocidad del aire: 14.8 m/s	
<input type="checkbox"/> A: 566 mm			Área de la sección: 2534 cm ²
<input type="checkbox"/> B: 444 mm			Perímetro: 1.84 cm
<input type="checkbox"/> Relación de forma: 1.5			
Conducto rectangular		<input type="checkbox"/> Velocidad del aire: 14.08 m/s	
<input type="checkbox"/> A: 515 mm			Área de la sección: 2662.6 cm ²
<input type="checkbox"/> B: 515 mm			Perímetro: 2.06 cm
<input type="checkbox"/> Relación de forma: 1			

Input		Output	
Diameter (D, mm)	564	Velocity (V, m/s)	15.0
Length (L, m)	1.0	Vel Pres at Vo (Pv, Pa)	127
Absolute Roughness (e, mm)	0.15	Friction Factor (f)	0.0158
Flow Rate (Q, L/s)	3750	Pressure Loss (Pa)	4

Tramo 5-6

Características del aire		Características del conducto	
Caudal: 8500 m ³ /h	Temperatura: 30 °C	Material: Acero galvanizado	Rugosidad absoluta: 0.15 mm
Densidad: 1.185 kg/m ³	Viscosidad cinemática: 16 × 10 ⁻⁶ m ² /s	Método de Cálculo	
Conducto circular		<input type="checkbox"/> Pérdida de presión: 4.9 Pa/m	
<input type="checkbox"/> Ø: 448 mm		<input checked="" type="checkbox"/> Velocidad del aire: 15 m/s	Área de la sección: 1576.3 cm ²
			Perímetro: 1.41 cm
Conducto ovalado		<input type="checkbox"/> Velocidad del aire: 14.72 m/s	
<input type="checkbox"/> A: 530 mm			Área de la sección: 1603.5 cm ²
<input type="checkbox"/> B: 353 mm			Perímetro: 1.46 cm
<input type="checkbox"/> Relación de forma: 1.5			
Conducto rectangular		<input type="checkbox"/> Velocidad del aire: 14.06 m/s	
<input type="checkbox"/> A: 410 mm			Área de la sección: 1681 cm ²
<input type="checkbox"/> B: 410 mm			Perímetro: 1.64 cm
<input type="checkbox"/> Relación de forma: 1			

Input		Output	
Diameter (D, mm)	448	Velocity (V, m/s)	15.0
Length (L, m)	15.4	Vel Pres at Vo (Pv, Pa)	126
Absolute Roughness (e, mm)	0.15	Friction Factor (f)	0.0167
Flow Rate (Q, L/s)	2361.1	Pressure Loss (Pa)	72

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Tramo 1-7

Características del aire Caudal: 8500 m ³ /h Temperatura: 30 °C Densidad: 1,165 kg/m ³ Viscosidad cinemática: 16 x 10 ⁻⁶ m ² /s	Características del conducto Material: Acero galvanizado Rugosidad absoluta: 0,15 mm Método de Cálculo <input type="checkbox"/> Pérdida de presión: 4,9 Pa/m
Conducto circular <input type="checkbox"/> Ø: 448 mm  <input checked="" type="checkbox"/> Velocidad del aire: 15 m/s Área de la sección: 1576,3 cm ² Perímetro: 141 cm	
Conducto ovalado <input type="checkbox"/> A: 530 mm <input type="checkbox"/> B: 353 mm <input type="checkbox"/> Relación de forma: 1,5  <input type="checkbox"/> Velocidad del aire: 14,72 m/s Área de la sección: 1603,5 cm ² Perímetro: 146 cm	
Conducto rectangular <input type="checkbox"/> A: 410 mm <input type="checkbox"/> B: 410 mm <input type="checkbox"/> Relación de forma: 1  <input type="checkbox"/> Velocidad del aire: 14,06 m/s Área de la sección: 1681 cm ² Perímetro: 164 cm	

Input		Output	
Diameter (D, mm)	448	Velocity (V, m/s)	15.0
Length (L, m)	20.5	Vel Pres at Vo (Pv, Pa)	126
Absolute Roughness (e, mm)	0.15	Friction Factor (f)	0.0167
Flow Rate (Q, L/s)	2361.1	Pressure Loss (Pa)	96


Tramo 1-8

Características del aire Caudal: 4250 m ³ /h Temperatura: 30 °C Densidad: 1,165 kg/m ³ Viscosidad cinemática: 15 x 10 ⁻⁶ m ² /s	Características del conducto Material: Acero galvanizado Rugosidad absoluta: 0,15 mm Método de Cálculo <input type="checkbox"/> Pérdida de presión: 7,45 Pa/m
Conducto circular <input type="checkbox"/> Ø: 317 mm  <input checked="" type="checkbox"/> Velocidad del aire: 15 m/s Área de la sección: 789,2 cm ² Perímetro: 100 cm	
Conducto ovalado <input type="checkbox"/> A: 374 mm <input type="checkbox"/> B: 249 mm <input type="checkbox"/> Relación de forma: 1,5  <input type="checkbox"/> Velocidad del aire: 14,79 m/s Área de la sección: 798,2 cm ² Perímetro: 103 cm	
Conducto rectangular <input type="checkbox"/> A: 290 mm <input type="checkbox"/> B: 290 mm <input type="checkbox"/> Relación de forma: 1  <input type="checkbox"/> Velocidad del aire: 14,04 m/s Área de la sección: 841 cm ² Perímetro: 116 cm	

Input		Output	
Diameter (D, mm)	317	Velocity (V, m/s)	15.0
Length (L, m)	3	Vel Pres at Vo (Pv, Pa)	126
Absolute Roughness (e, mm)	0.15	Friction Factor (f)	0.0181
Flow Rate (Q, L/s)	1180.5	Pressure Loss (Pa)	22

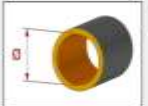
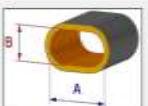

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Tramo 8-9

<p>Características del aire</p> <p>Caudal: 2125 m³/h</p> <p>Temperatura: 30 °C</p> <p>Densidad: 1.165 kg/m³</p> <p>Viscosidad cinemática: 16 x 10⁻⁶ m²/s</p>	<p>Características del conducto</p> <p>Material: Acero galvanizado</p> <p>Rugosidad absoluta: 0.15 mm</p> <p>Método de Cálculo</p> <p><input type="checkbox"/> Pérdida de presión: 11.43 Pa/m</p>
<p>Conducto circular</p> <p><input type="checkbox"/> D: 224 mm</p>  <p><input checked="" type="checkbox"/> Velocidad del aire: 15 m/s</p> <p>Área de la sección: 394.1 cm²</p> <p>Perímetro: 70 cm</p>	
<p>Conducto ovalado</p> <p><input type="checkbox"/> A: 264 mm</p> <p><input type="checkbox"/> B: 176 mm</p> <p>Relación de forma: 1.5</p>  <p><input type="checkbox"/> Velocidad del aire: 14.83 m/s</p> <p>Área de la sección: 398.2 cm²</p> <p>Perímetro: 73 cm</p>	
<p>Conducto rectangular</p> <p><input type="checkbox"/> A: 205 mm</p> <p><input type="checkbox"/> B: 205 mm</p> <p>Relación de forma: 1</p>  <p><input type="checkbox"/> Velocidad del aire: 14.05 m/s</p> <p>Área de la sección: 420.3 cm²</p> <p>Perímetro: 82 cm</p>	

Input		Output	
Diameter (D, mm)	224	Velocity (V, m/s)	15.0
Length (L, m)	13	Vel Pres at Vo (Pv, Pa)	125
Absolute Roughness (e, mm)	0.15	Friction Factor (f)	0.0196
Flow Rate (Q, L/s)	590.3	Pressure Loss (Pa)	144

Tramo 2-10

<p>Características del aire</p> <p>Caudal: 900 m³/h</p> <p>Temperatura: 30 °C</p> <p>Densidad: 1.165 kg/m³</p> <p>Viscosidad cinemática: 16 x 10⁻⁶ m²/s</p>	<p>Características del conducto</p> <p>Material: Acero galvanizado</p> <p>Rugosidad absoluta: 0.15 mm</p> <p>Método de Cálculo</p> <p><input type="checkbox"/> Pérdida de presión: 19.51 Pa/m</p>
<p>Conducto circular</p> <p><input type="checkbox"/> D: 146 mm</p>  <p><input checked="" type="checkbox"/> Velocidad del aire: 15 m/s</p> <p>Área de la sección: 167.4 cm²</p> <p>Perímetro: 46 cm</p>	
<p>Conducto ovalado</p> <p><input type="checkbox"/> A: 173 mm</p> <p><input type="checkbox"/> B: 115 mm</p> <p>Relación de forma: 1.5</p>  <p><input type="checkbox"/> Velocidad del aire: 14.66 m/s</p> <p>Área de la sección: 170.6 cm²</p> <p>Perímetro: 49 cm</p>	
<p>Conducto rectangular</p> <p><input type="checkbox"/> A: 134 mm</p> <p><input type="checkbox"/> B: 134 mm</p> <p>Relación de forma: 1</p>  <p><input type="checkbox"/> Velocidad del aire: 13.90 m/s</p> <p>Área de la sección: 179.6 cm²</p> <p>Perímetro: 54 cm</p>	

Input		Output	
Diameter (D, mm)	146	Velocity (V, m/s)	14.9
Length (L, m)	8.5	Vel Pres at Vo (Pv, Pa)	126
Absolute Roughness (e, mm)	0.15	Friction Factor (f)	0.0218
Flow Rate (Q, L/s)	250	Pressure Loss (Pa)	160

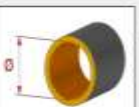

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Tramo 3-11

Características del aire Caudal: 5050 m ³ /h Temperatura: 30 °C Densidad: 1,165 kg/m ³ Viscosidad cinemática: 15 x 10 ⁻⁶ m ² /s	Características del conducto Material: Acero galvanizado Rugosidad absoluta: 0,15 mm Método de Cálculo <input type="checkbox"/> Pérdida de presión: 6,72 Pa/m
Conducto circular <input type="checkbox"/> Ø: 345 mm  <input checked="" type="checkbox"/> Velocidad del aire: 15 m/s Área de la sección: 934,8 cm ² Perímetro: 108 cm	
Conducto ovalado <input type="checkbox"/> A: 408 mm <input type="checkbox"/> B: 272 mm <input type="checkbox"/> Relación de forma: 1,5  <input type="checkbox"/> Velocidad del aire: 14,75 m/s Área de la sección: 951 cm ² Perímetro: 113 cm	
Conducto rectangular <input type="checkbox"/> A: 316 mm <input type="checkbox"/> B: 316 mm <input type="checkbox"/> Relación de forma: 1  <input type="checkbox"/> Velocidad del aire: 14,05 m/s Área de la sección: 998,6 cm ² Perímetro: 126 cm	

Input		Output	
Diameter (D, mm)	345	Velocity (V, m/s)	15.0
Length (L, m)	1	Vel Pres at Vo (Pv, Pa)	127
Absolute Roughness (e, mm)	0.15	Friction Factor (f)	0.0177
Flow Rate (Q, L/s)	1402.7	Pressure Loss (Pa)	7

Tramo 4-12

Características del aire Caudal: 5000 m ³ /h Temperatura: 30 °C Densidad: 1,165 kg/m ³ Viscosidad cinemática: 16 x 10 ⁻⁶ m ² /s	Características del conducto Material: Acero galvanizado Rugosidad absoluta: 0,15 mm Método de Cálculo <input type="checkbox"/> Pérdida de presión: 6,77 Pa/m
Conducto circular <input type="checkbox"/> Ø: 343 mm  <input checked="" type="checkbox"/> Velocidad del aire: 15 m/s Área de la sección: 924 cm ² Perímetro: 108 cm	
Conducto ovalado <input type="checkbox"/> A: 405 mm <input type="checkbox"/> B: 270 mm <input type="checkbox"/> Relación de forma: 1,5  <input type="checkbox"/> Velocidad del aire: 14,82 m/s Área de la sección: 937,1 cm ² Perímetro: 112 cm	
Conducto rectangular <input type="checkbox"/> A: 314 mm <input type="checkbox"/> B: 314 mm <input type="checkbox"/> Relación de forma: 1  <input type="checkbox"/> Velocidad del aire: 14,09 m/s Área de la sección: 986 cm ² Perímetro: 126 cm	

Input		Output	
Diameter (D, mm)	343	Velocity (V, m/s)	15.0
Length (L, m)	10.0	Vel Pres at Vo (Pv, Pa)	127
Absolute Roughness (e, mm)	0.15	Friction Factor (f)	0.0177
Flow Rate (Q, L/s)	1388.8	Pressure Loss (Pa)	66

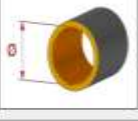
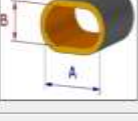
Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Tramo 6-15

Características del aire Caudal: 3600 m ³ /h Temperatura: 30 °C Densidad: 1,165 kg/m ³ Viscosidad cinemática: 16 x 10 ⁻⁶ m ² /s	Características del conducto Material: Acero galvanizado Rugosidad absoluta: 0,15 mm Método de Cálculo <input type="checkbox"/> Pérdida de presión: 0,38 Pa/m
Conducto circular <input type="checkbox"/> D: 287 mm  <input checked="" type="checkbox"/> Velocidad del aire: 15 m/s Área de la sección: 646,9 cm ² Perímetro: 90 cm	
Conducto ovalado <input type="checkbox"/> A: 338 mm <input type="checkbox"/> B: 226 mm <input type="checkbox"/> Relación de forma: 1,5  <input type="checkbox"/> Velocidad del aire: 14,81 m/s Área de la sección: 656,5 cm ² Perímetro: 94 cm	
Conducto rectangular <input type="checkbox"/> A: 263 mm <input type="checkbox"/> B: 263 mm <input type="checkbox"/> Relación de forma: 1  <input type="checkbox"/> Velocidad del aire: 14,06 m/s Área de la sección: 691,7 cm ² Perímetro: 105 cm	

Input		Output	
Diameter (D, mm)	287	Velocity (V, m/s)	15.0
Length (L, m)	2	Vel Pres at Vo (Pv, Pa)	127
Absolute Roughness (e, mm)	0.15	Friction Factor (f)	0.0185
Flow Rate (Q, L/s)	972.2	Pressure Loss (Pa)	16


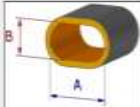
Tramo 5-13

Características del aire Caudal: 5000 m ³ /h Temperatura: 30 °C Densidad: 1,165 kg/m ³ Viscosidad cinemática: 16 x 10 ⁻⁶ m ² /s	Características del conducto Material: Acero galvanizado Rugosidad absoluta: 0,15 mm Método de Cálculo <input type="checkbox"/> Pérdida de presión: 6,77 Pa/m
Conducto circular <input type="checkbox"/> D: 343 mm  <input checked="" type="checkbox"/> Velocidad del aire: 15 m/s Área de la sección: 924 cm ² Perímetro: 108 cm	
Conducto ovalado <input type="checkbox"/> A: 405 mm <input type="checkbox"/> B: 270 mm <input type="checkbox"/> Relación de forma: 1,5  <input type="checkbox"/> Velocidad del aire: 14,82 m/s Área de la sección: 937,1 cm ² Perímetro: 112 cm	
Conducto rectangular <input type="checkbox"/> A: 314 mm <input type="checkbox"/> B: 314 mm <input type="checkbox"/> Relación de forma: 1  <input type="checkbox"/> Velocidad del aire: 14,09 m/s Área de la sección: 986 cm ² Perímetro: 126 cm	

Input		Output	
Diameter (D, mm)	343	Velocity (V, m/s)	15.0
Length (L, m)	2	Vel Pres at Vo (Pv, Pa)	127
Absolute Roughness (e, mm)	0.15	Friction Factor (f)	0.0177
Flow Rate (Q, L/s)	1388.8	Pressure Loss (Pa)	13

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Tramo 6-14

Características del aire		Características del conducto	
Caudal:	5000 m ³ /h	Materia:	Acero galvanizado
Temperatura:	30 °C	Rugosidad absoluta:	0,15 mm
Densidad:	1,165 kg/m ³	Método de Cálculo	
Viscosidad cinemática:	16 x 10 ⁻⁶ m ² /s	<input type="checkbox"/> Pérdida de presión: 6,77 Pa/m	
Conducto circular		<input checked="" type="checkbox"/> Velocidad del aire: 15 m/s Área de la sección: 924 cm ² Perímetro: 108 cm	
<input type="checkbox"/> z: 343 mm 			
Conducto ovalado		<input type="checkbox"/> Velocidad del aire: 14,82 m/s Área de la sección: 937,1 cm ² Perímetro: 112 cm	
<input type="checkbox"/> A: 405 mm <input type="checkbox"/> B: 270 mm <input type="checkbox"/> Relación de forma: 1,5 			
Conducto rectangular		<input type="checkbox"/> Velocidad del aire: 14,09 m/s Área de la sección: 986 cm ² Perímetro: 126 cm	
<input type="checkbox"/> A: 314 mm <input type="checkbox"/> B: 314 mm <input type="checkbox"/> Relación de forma: 1 			

Input		Output	
Diameter (D, mm)	343	Velocity (V, m/s)	15.0
Length (L, m)	5.4	Vel Pres at Vo (Pv, Pa)	127
Absolute Roughness (e, mm)	0.15	Friction Factor (f)	0.0177
Flow Rate (Q, L/s)	1388.8	Pressure Loss (Pa)	36

Curvas de 45°

Input		Output	
Diameter (D, mm)	250	Velocity (Vo, m/s)	48.1
Flow Rate (Q, L/s)	2361.1	Vel Pres at Vo (Pv, Pa)	1304
<input type="button" value="Calculate"/>		Loss Coefficient (Co)	0.07
		Pressure Loss (Pa)	91

Disminución 1-2 y 2-3

Input		Output	
Diameter (Do, mm)	759	Velocity (Vo, m/s)	22.8
Diameter (D1, mm)	937	Velocity (V1, m/s)	15.0
Angle (Theta, deg.)	90	Vel Pres at Vo (Pvo, Pa)	294
Flow Rate (Q, L/s)	10333	Vel Pres at V1 (Pv1, Pa)	127
<input type="button" value="Calculate"/>		Loss Coefficient (Co)	0.22
		Loss Coefficient (C1)	0.51
		Pressure Loss (Pa)	65

Input		Output	
Diameter (Do, mm)	745	Velocity (Vo, m/s)	23.7
Diameter (D1, mm)	759	Velocity (V1, m/s)	22.8
Angle (Theta, deg.)	90	Vel Pres at Vo (Pvo, Pa)	317
Flow Rate (Q, L/s)	10333	Vel Pres at V1 (Pv1, Pa)	294
<input type="button" value="Calculate"/>		Loss Coefficient (Co)	0.02
		Loss Coefficient (C1)	0.03
		Pressure Loss (Pa)	7

Anexo 6.

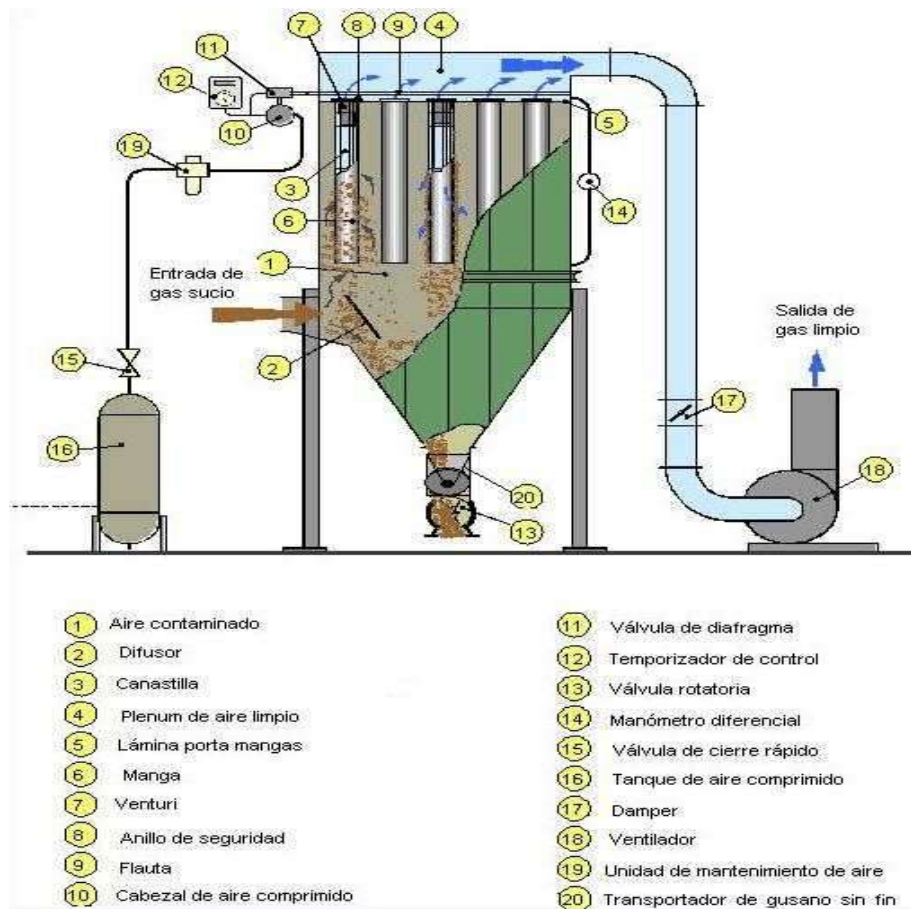


Fig. 1 Elementos mecánicos en un colector de mangas Pulse-Jet.

<i>Tipo de limpieza del colector</i>	<i>Rel. Aire/Tela en m³/min/m²</i>
Sacudido	0.76-0.91
Aire Reverso	0.61-0.76
Plenum Pulse	1.07-1.22
Pulse-Jet	1.52-1.83

Tabla 1. Relaciones de Aire-Tela Típicas

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL	<i>Valores de los Coeficientes</i>		
	φ	A	w_0
Ligeros y no Abrasivos	0.4	65	1.2
Ligeros y poco Abrasivos	0.32	50	1.6
Pesados y poco Abrasivos	0.25	45	2.5
Pesados y Abrasivos	0.125	30	4.0

Tabla 2. Valores de coeficientes

DIAMETRO TORNILLO, mm	100	125	160	200	250	300	400	500	650	800
Paso, mm	100	125	160	200	250	300	400	500	650	800
	80	100	125	160	200	250	320	400	600	650

Tabla 3. Valores tipificados de diámetros de tornillos con su paso

ANGULO DE INCLINACION DEL TRANSPORTADOR	0	5	10	15	20
k	1	0.9	0.8	0.7	0.6

Tabla 4. Ángulo de inclinación del transportador

DIAMETRO TORNILLO, mm	150	200	250	300	400	500	600
Velocidad de rotación del tornillo, rpm	24	20	24	19	19	19	15
	150	180	118	118	95	95	75

Tabla 5. Velocidades máximas de rotación del tornillo

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

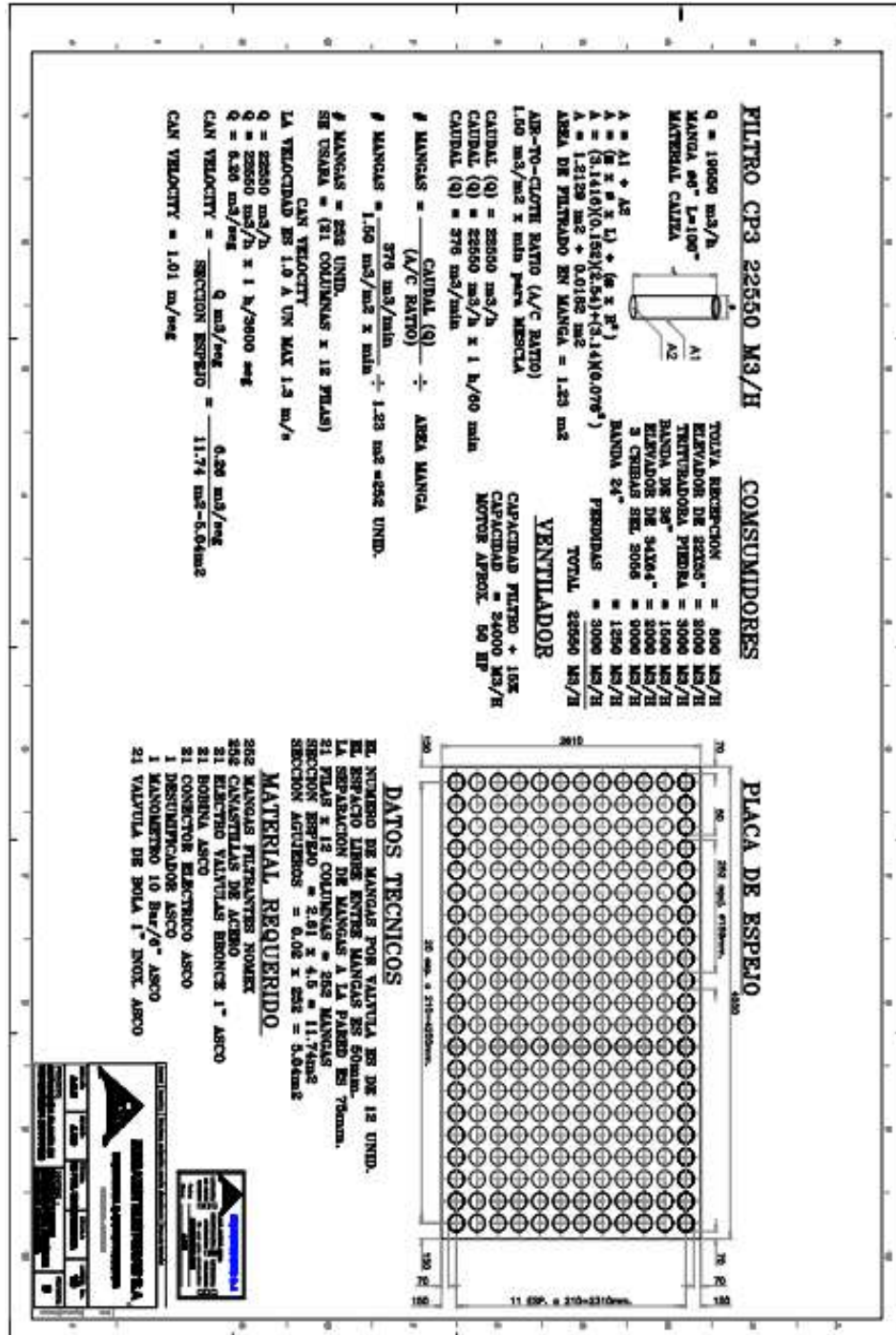


Fig. 2

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Análisis elaborado por el software Ansys Workbench a un filtro de 28 mangas

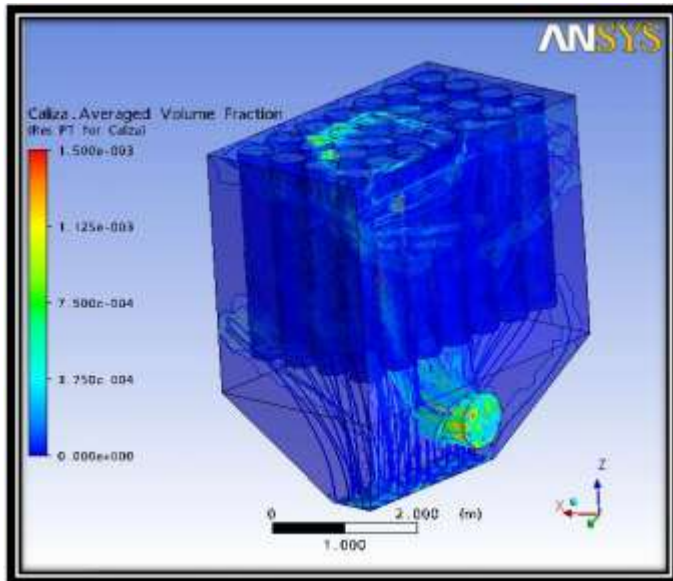


Fig.3 Comportamiento de las partículas en el interior.

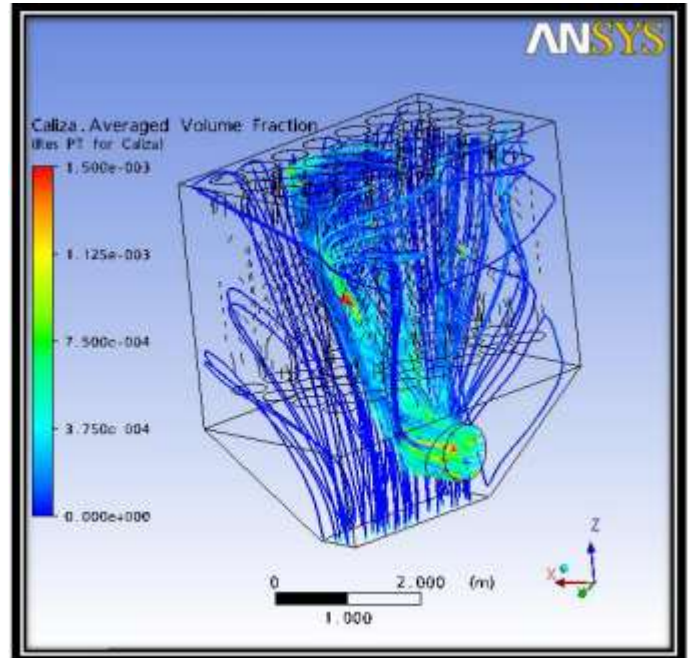


Fig.4 Líneas de flujo de las trayectorias de las partículas.

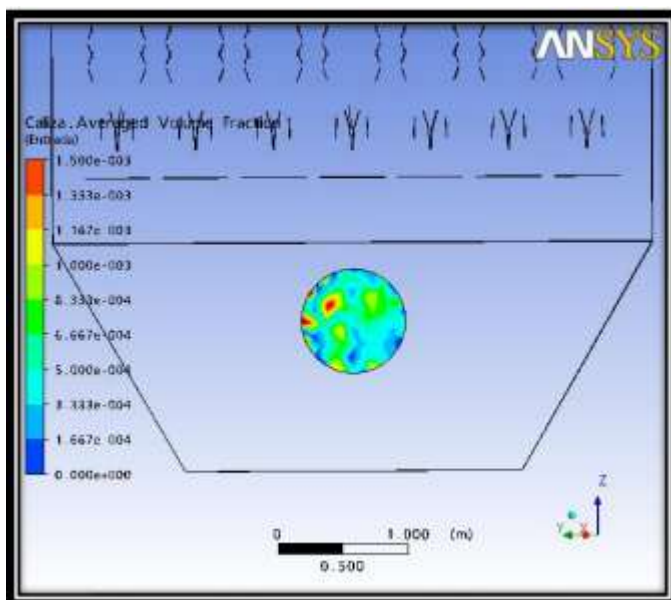


Fig.5 Concentración de polvo a la entrada

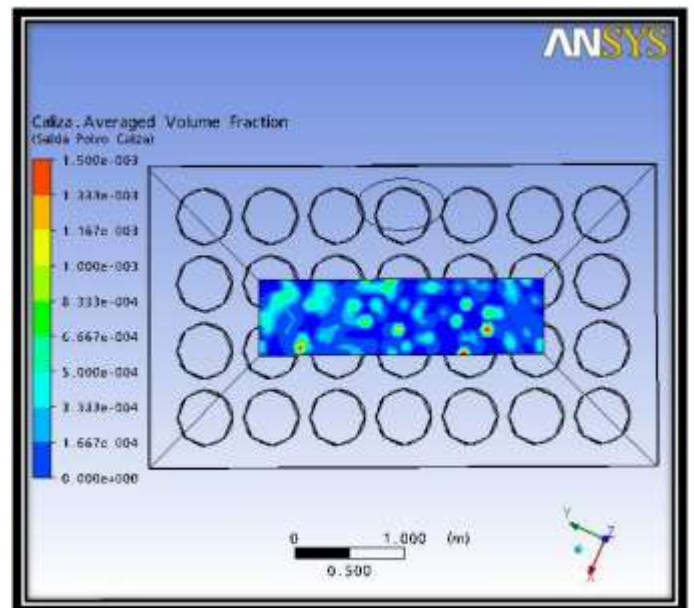


Fig.6 Concentración a la salida de la tolva

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
 www.uho.edu.cu

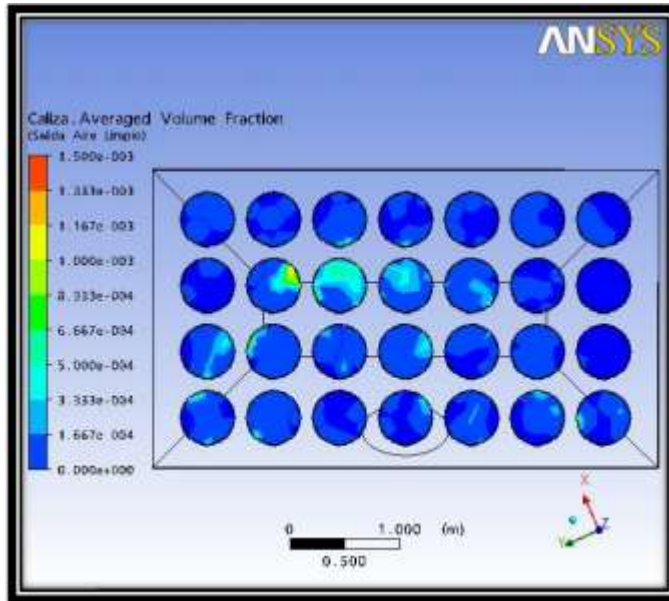


Fig.7 Concentración a la salida de las mangas

Material	Temperature limit, °F	Chemistry acid/base	Residual moisture	Service strength		Filtration efficiency	Permeability, (ft ³ /min)/ft ²	Drug, in WG/(ft ² /min)	Cost, \$/ft ²
				Flexibility	Cleaning				
Felts									
Polypropylene	150	E/E	P	E	G	E	30+	0.5	1.00
Polyester	275	G/P	F	F	E	E	30+	0.5	1.00
Acrylic	280	V/F	E	G	F	E	30+	0.5	1.00
Nomex	400	G/G	G	G	G	E	30+	0.5	3.00
Ryton	375	E/E	E	E	E	E	30+	0.5	3.20
P84	450	E/P	E	E	E	E	30+	0.5	3.30
Teflon	475	E/E	E	F	P	E	30+	0.5	5.20
Woven									
Fiberglass	500	G/P	E	F	P	G	30+	0.7	2.50
Ceramic	1300	E/G	G	G	P	E	30+	0.5	7.00
Metals	1800	E/G	E	G	E	G	30+	0.7	6.50
Membrane (expand porous surface filtration coating)									
PTFE	500	E/E	E	F	E	E	30+	0.6	2.50
Acrylic	275	V/F	E	G	G	E	30+	0.5	1.00
Finishes (thermally staged, or chemical finish)									
Graphite grounding	500	E/E	E	G	G	E	30+	0.5	1.50
Silicone	500	E/E	E	G	G	E	30+	0.5	1.00
Teflon	500	E/E	E	G	G	E	30+	0.5	1.50
Ground wires	500	G/G	G	G	G	E	NA	NA	0.50
Epitropic grounding	400	G/G	G	G	G	E	—	—	0.50
Rigid cartridge membrane									
Cellulose/ synthetic	240	F/F	F	G	E	G	15+	0.9	2.00
Polyester	275	G/G	G	G	G	E	30	0.5	2.50
Nomex	400	G/G	G	G	G	E	30	0.5	5.50
PTFE	400	E/E	E	G	G	E	25	0.7	2.50

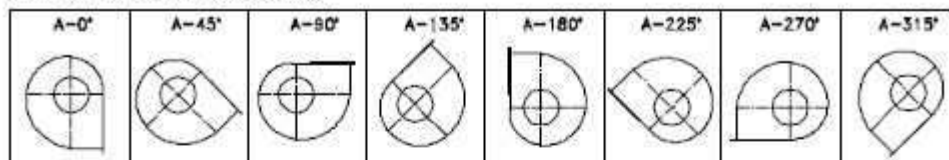
Fig.8 Materiales usados para las mangas

Anexo 7.

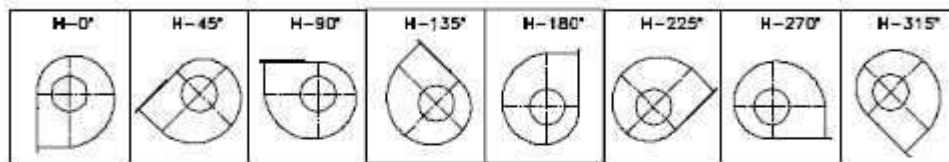
FORMAS CONSTRUCTIVAS PARA VENTILADORES DE ASPIRACION SIMPLE

DESIGNACION DE ROTACION Y DESCARGA

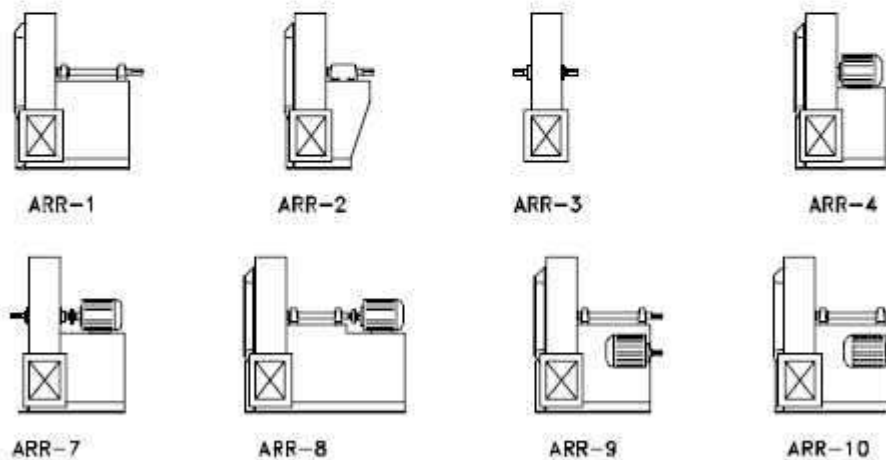
SENTIDO DE ROTACION ANTIHORARIO



SENTIDO DE ROTACION HORARIO



DESIGNACION SEGUN ARREGLOS DE TRANSMISION



ARR-1: PARA TRANSM. POR BANDAS O DIRECTA, IMPULSOR EN VOLADIZO, DOS CHUMACERAS MONTADAS EN LA BASE.

ARR-2: PARA TRANSM. POR BANDAS O DIRECTA, IMPULSOR EN VOLADIZO, RODAMIENTOS EN SOPORTE MONOBLOQUE.

ARR-3: PARA TRANSMISION POR BANDAS O DIRECTA CHUMACERA A CADA LADO DEL IMPULSOR Y SOPORTADA EN LA VOLUTA.

ARR-4: PARA TRANSM. DIRECTA, IMPULSOR EN VOLADIZO EN EL EJE DEL MOTOR.

ARR-7: PARA TRANSM. POR BANDAS O DIRECTA, IGUAL AL ARREGLO 3, CON ADICION DE UNA BASE PARA EL MOTOR.

ARR-8: PARA TRANSM. POR BANDAS O DIRECTA, IGUAL AL ARREGLO 1, PERO CON BASE EXTENDIDA PARA EL MOTOR.

ARR-9: PARA TRANSM. POR BANDAS, IMPULSOR EN VOLADIZO Y MOTOR MONTADO EN EL EXTERIOR DE LA BASE.

ARR-10: IGUAL QUE EL ARREGLO 8, PERO CON EL MOTOR MONTADO EN EL INTERIOR DE LA BASE.

Fig. 1