

**Universidad Nacional de Ingeniería**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**“ Diseño del Sistema de Ventilación para la  
Planta Eléctrica de Zinc Sección  
Molienda y Cernido ”**

**T E S I S**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECANICO**

**ULISES MARCO LAZO DE LA CRUZ**

**PROMOCION: 1990 - 2**

**LIMA . PERU . 1991**

## CONTENIDO

	Página
PROLOGO	viii
1. INTRODUCCION	1
1.1. Generalidades	1
2. CARACTERISTICAS DE OPERACION Y CONTAMINACION AMBIENTAL DE LA PLANTA.	11
2.1. Ubicación	11
2.2. Características de operación.	12
2.2.1. Diagrama de flujo.	12
2.2.2. Memoria descriptiva.	15
2.3. Características ambientales.	17
2.3.1. Origen de la polución.	17
2.3.2. Tipo de contaminación.	18
2.3.3. Niveles de contaminación.	18
3. DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DE DISEÑO.	20
3.1. Características generales del polvo.	20

3.1.1. Definición.	20
3.1.2. Propiedades de la calcina de zinc.	21
A. Propiedades químicas.	21
B. Propiedades físicas.	23
3.1.3. Propiedades del aire.	25
A. Propiedades químicas.	25
B. Propiedades físicas.	25
3.2. Determinación de los puntos de generación de contaminación.	25
3.2.1. Definición.	25
3.2.2. En la industria minera.	26
3.2.3. En la sección de molienda y cernido.	33
3.3. Cantidad de polvo que se genera en puntos de contaminación.	35
3.3.1. Definición.	35
3.4. Velocidad de succión.	35
3.4.1. Definición.	35
3.4.2. Tipos de velocidades.	36
3.4.3. Determinación de la velocidad de succión.	37
3.5. Configuración del sistema.	40
3.5.1. Definición y criterios.	40
3.5.2. Normas y especificaciones.	41
<b>4. DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACION</b>	<b>50</b>
4.1. Diseño de las campanas.	50
4.1.1. Concepto y criterio de diseño.	50
4.1.2. Listado de los puntos de ventilación.	74
4.1.3. Cálculo de puntos de ventilación.	75

4.1.4.	Tabla de resultados del cálculo.	98
4.2.	Diseño de los ductos.	99
4.2.1.	Pérdidas en los ductos.	99
	A. Generalidades.	99
	B. Pérdidas en la campana.	106
	C. Pérdidas en tramos longitudinales.	112
	D. Pérdidas en codos.	119
	E. Pérdidas en las entradas de los ramales.	121
	F. Pérdidas en los cambios de sección.	121
	G. Pérdidas en los equipos de colección.	122
4.2.2.	Velocidad de transporte.	122
4.2.3.	Cálculos de los ductos.	126
	A. Definición.	126
	B. Selección del método de cálculo.	129
	C. Distribución del flujo de aire.	132
	D. Resumen de consideraciones para el desarrollo del cálculo.	137
	E. Proceso de cálculo de los ductos.	141
4.3.	Cálculo y selección del sistema de colección de polvos.	163
4.3.1.	Cálculo de la eficiencia del colector.	163
4.3.2.	Determinación de las propiedades del contaminante.	165
4.3.3.	Selección del tipo de colector de polvos.	166
4.3.4.	Dimensionamiento del colector de polvos.	169
4.4.	Cálculo y selección del ventilador.	173
4.4.1.	Parámetros de selección.	173
4.4.2.	Selección del ventilador.	173

4.4.3. Selección del motor.	177
4.4.4. Cálculo de las fajas de transmisión.	179
<b>5. COMPARACION TECNICO-ECONOMICO SEGUN EL TIPO DE COLECTOR A USAR.</b>	185
5.1. Comparación técnica.	185
5.2. Comparación económica.	185
5.2.1. Determinación de la inversión.	186
5.2.2. Determinación del valor de la cantidad de polvo recuperado.	190
5.2.3. Análisis de la inversión.	192
A. Determinación del tiempo de recuperación de la inversión.	192
B. Evaluación de la tasa interna de retorno (TIR).	193
<b>CONCLUSIONES.</b>	196
<b>BIBLIOGRAFIA.</b>	199
<b>PLANOS.</b>	
<b>APENDICE.</b>	203

## PROLOGO

Para muchos egresados de Ingeniería Mecánica el estudio y la aplicación del diseño de un sistema de ventilación en la industria es un tema nebuloso, rodeado por escasa información, por lo que es difícil relacionarlo con un problema dado.

Muchos fabricantes de equipos de ventilación, dedican una parte de sus catálogos a las fases técnicas de aplicación de sus equipos, pero pocas veces tienen un espacio suficiente para presentar más que una tabulación de datos adecuados y delinear un ejemplo típico para la selección de los equipos que ofrecen.

El máximo problema con el que el egresado se encuentra hoy en día es el de elegir, diseñar y aplicar el mejor sistema de ventilación para diferentes tipos de polución que se encuentran en las diferentes plantas industriales.

En este trabajo específico, el diseño del sistema de ventilación para la planta electrolítica de zinc sección

molienda y cernido, se ha llenado el paso entre los numerosos datos y estudios realizados en el mismo lugar, en las mismas instalaciones donde existe la polución, por lo que puedo considerar entregar al egresado datos casi definitivos del proceso del diseño del sistema de ventilación para el material de polvo de calcina de zinc.

Este trabajo está preparado para todo egresado de Ingeniería Mecánica que tiene que lidiar con los sistemas de ventilación para plantas industriales, mineras, metalúrgicas que tengan que ver con ventilación, transporte neumático, colector de polvos y para conocimiento técnico, de los estudiantes. Encontrará el lector un procedimiento detallado para analizar un problema de diseño de sistema de ventilación particular y encontrar el sistema adecuado para su aplicación en las condiciones que se requieran. Se presentan varios cuadros, tablas, figuras, apendices, planos que ilustran el proceso y diseño del sistema de ventilación. El diseño que se ha elaborado cubre una amplia forma de aplicaciones del proceso y representan ayudas, muy útiles a los egresados que desean incursionar en el campo del sistema de ventilación, su análisis, selección y realizar un estudio económico de las partes.

En los capítulos que se indican están definidas y analizadas las clases, tipos, formas que se requieren. Los detalles de construcción y el montaje de este sistema se toca solo ligeramente debido a que es materia de un estudio adicional.

Con esta información el lector estará preparado para ver y solucionar el problema de un sistema de ventilación.

La solución planteada es de un hecho real de clases, tipos, formas y la selección de equipos se han efectuado de acuerdo a los resultados de los cálculos realizados.

Todo egresado que trata sobre diseño de ventilación y prácticamente todos tienen que hacerlo en el futuro o en sus trabajos de carrera por que en el futuro toda industria minera, metalúrgica, siderúrgica, papelera, textil, química, etc. tendrán que mantener niveles mínimos de polución si desean continuar con sus operaciones.

A nivel mundial se tiene el concepto de considerar al aire y agua como recursos naturales que tienen que preservarse por ser indispensable para el continuo desarrollo de la humanidad.

Este trabajo cuenta con la gran ayuda de los Ingenieros de Proyectos - Oroya de la Cia. Centromín Perú S.A. que me han asesorado y sin las direcciones y bibliografías proporcionadas no hubiese concluido satisfactoriamente, por esta gran ayuda mis agradecimientos a ellos.

Especialmente me siento en deuda con los Catedráticos de la Universidad Nacional de Ingeniería quienes en todo momento me inculcaron sus conocimientos y me brindaron todo el apoyo necesario para que este trabajo se pudiera culminar.

Mis agradecimientos a todos los que me apoyaron directa e indirectamente en la conclusión de este trabajo.



1

## INTRODUCCION

### 1.1 Generalidades.

El Perú se encuentra entre los principales productores de Zinc en el mundo, siendo este mineral de gran aplicación industrial.

Dentro de la producción mundial de zinc el Perú se encuentra en cuarto lugar, siendo Centromin - Perú S.A. La empresa que más aporta con esta producción, por ser la empresa de mayor producción a nivel nacional.

El proceso de extracción y refinación de zinc es un proceso costoso, por lo que la tendencia actual para obtener zinc, en los países desarrollados, consiste en reciclar productos desechados que contienen zinc y otros minerales. La tecnología para la obtención de estos minerales se basa en la diferencia que existe entre sus puntos de fusión.

CENTROMIN - PERU produce zinc primario, es decir, que para obtener el zinc metálico se tiene que

extraer, concentrar, fundir y moldear. En países desarrollados el zinc secundario lo obtienen de fundir y moldear, básicamente. Por esta diferencia de producción es que los costos de obtención de zinc primario son mayores.

Lo expuesto obliga a Centromin-Perú a no desperdiciar el zinc, ya sea en concentrado o como calcina, en esta última se encuentra el zinc en mayor porcentaje, superior al 50% de contenido de zinc. También en el proceso de transformación de calcina a zinc metálico, la extracción de zinc metálico debe ser lo más elevado posible. Actualmente Centromin-Perú posee una extracción del 80 % a 86% de zinc metálico.

La producción de zinc secundario (por fusión) y de mayores porcentajes de extracción cercanos al 90%, ponen al Perú ante un mercado competitivo.

En el mercado, actualmente la demanda de zinc es constante, sin embargo, la producción se ha incrementado, generando una tendencia decreciente en los precios que continuará hasta 1992.

Se muestra en la siguiente proyección los precios del zinc hasta 1995, en US \$/Lb.

AÑO	1991	1992	1993	1994	1995
PRECIO	0.50	0.44	0.55	0.50	0.50

Fuente: Departamento de comercialización.

De lo proyectado puede considerarse que los precios son todavía estables. Para el año 2,000 se estima que la demanda de zinc empiece a decaer ya que se están buscando otros productos que reemplacen al mineral de zinc. Además se están dictando normas y leyes que exigen niveles de contaminación al mínimo y ésto obliga a que el proceso de extracción y refinación de zinc sean de alta tecnología y bastante costoso.

El incumplimiento de las normas, implicará que los minerales peruanos que se venden en el mercado internacional, paguen un arancel por no invertir en sistemas que eviten la contaminación ambiental de sus instalaciones y nuestros productos sean finalmente apartados del mercado internacional, lo que va influir en forma importante en la economía nacional.

Definitivamente los sistemas de ventilación industrial son costosos y que su uso implica mejorar únicamente las condiciones ambientales de la planta para ubicarla debajo de los límites permisibles que el código de bienestar y seguridad minera señalan. Pero esto no debe desestimar su utilización.

En caso contrario se iniciará un proceso de contaminación del aire. Este al igual que el agua son recursos para la humanidad, que si no procuramos conservarlos, más adelante no habrá agua

ni aire suficiente para vivir con salud.

Los problemas de la contaminación ambiental son desde hace varios años mayores al permisible y como consecuencia de ello, actualmente se está reduciendo el espesor de la capa de ozono, que es la que nos protege de los rayos ultravioleta que afectan a la piel, originando cancer, a causa de los gases de los procesos de combustión.

Así mismo, tenemos el efecto invernadero que está elevando la temperatura en la superficie de la tierra, por lo que el aire se enrarece originando problemas respiratorios.

La reducción del espesor de la capa de ozono y el efecto invernadero son procesos IRREVERSIBLES que se irán acelerando con el transcurrir de los años y con el incremento de la polución ambiental.

Por lo que el gasto en sistemas que eviten la polución ambiental, ahora es una necesidad.

En cuanto al mineral de zinc, éste afecta generalmente a la sangre y los pulmones.

El problema principal es que el zinc refinado no es el 100% puro, ya que viene acompañado de cadmio que es su principal contaminante.

Centromin Perú produce zinc refinado que de acuerdo a las especificaciones de la ASTM. tiene las siguientes características.

GRADO	Composición en Porcentajes					
	Cobre max.	Plomo máx.	Hierro máx.	Cadmio máx.	Total máx	Zinc, min. x diferen.
Die Casting Grade	0.0010	0.002	0.001	0.001	0.005	99.995

En lo que se refiere al polvo de calcina de zinc, el Anexo IV del Reglamento de Bienestar y Seguridad minera establece las siguientes concentraciones máximas permisibles para sus contaminaciones de plomo y zinc y que son:

0.2 mgrs / m<sup>3</sup> de Plomo

5.0 mgrs / m<sup>3</sup> de Zinc.

El presente trabajo, tiene como objetivo, analizar diseñar y evaluar técnica-económicamente un sistema de ventilación en una planta de molienda de calcina de zinc.

Para lo cuál el trabajo se ha planteado siguiendo un orden que es usual cuando se tiene que diseñar un sistema de ventilación.

El trabajo se inicia determinando las características de operación y contaminación ambiental de la planta (Cápítulo 2), el objetivo de este capítulo es el de conocer con exactitud si la polución que en ella se tiene son gases, vapores,

nieblas o polvos. Los cuales se generan durante el proceso de operación que se desarrolla en la planta.

Para lograr este objetivo se tienen que seguir dos pasos principales; primero, conocer como trabaja la planta es decir saber que produce la planta, que equipos poseen y como operan cada uno de ellos; segundo, determinar como contamina el ambiente durante sus operaciones.

En nuestro caso la planta en estudio tiene como objetivo principal el moler la calcina de zinc para obtener tamaños de partícula que sean capaces de pasar por una malla Nro. 35 de la serie Tyler.

Todo el proceso que se desarrolla en la planta son: clasificación, molienda, transporte y almacenamiento. Se realizan con una calcina de zinc que se encuentra totalmente seca y fria es decir con un contenido de humedad en porcentaje del 0.55 % y una temperatura promedio de 68 °F ( 20 °C)

Durante todo el proceso de operación de la planta se tiene a la calcina de zinc en constante movimiento y por las condiciones en que se encuentra se producen unas corrientes de polvo de calcina de zinc, que asciende verticalmente debido principalmente a las operaciones de manipuleo de la calcina de zinc. También en los puntos de transferencia en los que en el interior de los equipos se crea una presión interna, por la caída

del material, superior a la del medio ambiente.

Las partículas de calcina de zinc en un porcentaje superior al 90% están compuestas por tamaños de +20 micrones.

La calcina de zinc está compuesta en más de 50% por zinc, en 1% por plomo, elementos perjudiciales a la salud y el resto de impurezas.

La determinación de los parámetros de diseño (Capítulo 3) es el que continúa. Aquí determinaremos las características generales del polvo, es decir las propiedades físicas y químicas de la calcina de zinc, incluye también las propiedades del aire, medio en el que se encuentran dispersas las partículas de calcina de zinc. Conocer estas propiedades es muy importante para el diseño de Ventilación, ya que serán los parámetros que desde el punto de vista técnico determinarán la aplicación de uno u otro sistema de colección de polvos.

Este capítulo permite identificar con claridad, exactamente donde se está generando la polución, que para la forma de operación que tiene la planta estos puntos principalmente son los puntos de transferencia de la calcina de zinc.

En este capítulo determinaremos la velocidad de succión, aquella velocidad que permita capturar al contaminante y arrastrarlo hacia el interior de la campana a pesar de la presencia de corrientes

perturbadoras.

Se delinea también conceptos muy importantes para determinar la configuración del sistema, estos criterios son el reflejo de la experiencia tanto de diseñadores como de los que instalan sistemas de ventilación.

La definición de todos estos parámetros nos permitirán abordar con bastante criterio el diseño del sistema de ventilación (Capítulo 4). En este Capítulo se estudia con bastante cuidado el diseño de la campana. Aquí nos remitiremos a estudios y expresiones que son el resultado de experiencias en laboratorio, todo esto para comprender la forma ideal que debe tener la campana de aspiración y la cantidad de aire requerida para controlar la polución en cada punto de aspiración.

La parte concerniente al diseño de los ductos demostrará que las condiciones del flujo en todo sistema de ventilación poseen Reynolds superior a los 100,000 y que por lo tanto son flujos declarados turbulentos. Significa además que las pérdidas que se generan en estos sistemas se debe principalmente a la rugosidad del interior de las paredes de los ductos utilizados. Se tratará de tener una referencia adecuada para la determinación de la velocidad de transporte, que para el caso de la calcina de zinc está en el rango de las 4,000 al 5,000 F.P.M.



En el caso del cálculo y la selección del sistema de colección de polvos, fundamentalmente se tiene que verificar dos conceptos: primero que el sistema de colección tenga una eficiencia adecuada para que el polvo que por ella atraviesan y se arrojan al medio ambiente se encuentran dentro de los límites permisibles que señala el Reglamento de Bienestar y Seguridad minera, Anexo IV. Segundo, que la operación del sistema de colección de polvo sea adecuada para las características físicas y químicas del polvo, expresados por su tamaño de partícula y su concentración, principalmente.

Es muy importante en el cálculo y selección de un sistema de colección la experiencia del diseñador. Es conveniente construir plantas piloto para definir con precisión la operación del colector de polvos y en general de todo el sistema de ventilación antes de tomar la decisión y la construcción del sistema, porque estos son muy costosos y las condiciones de operación varían para cada tipo de polvo.

En el cálculo y selección del ventilador es muy importante que el volumen de aire sea constante en la operación del sistema de ventilación. Aquí tiene una influencia notable las características de operación del colector de polvo.

El ventilador es el que proporciona la **energía** necesaria en forma de presión estática (SP) que

permitira mantener en el ducto una velocidad mínima de transporte constante y que evite la sedimentación del polvo en los ductos. Por ello es de vital importancia realizar un cálculo minucioso y exácto de la caída de presión en el sistema de ventilación.

Finalmente, en la comparación técnico-económico según el tipo de colector a usar (Capítulo 5), se realizará un análisis económico del sistema de ventilación.

2

## CARACTERISTICAS DE OPERACION Y CONTAMINACION AMBIENTAL D E LA PLANTA

### 2.1 Ubicación

La Fundición y Refinería, se encuentra ubicada a una altura aprox. de 3 800 m s.n.m., en el Departamento de Junín, Provincia de Yauli, Distrito de La Oroya, a la altura del Kilometro 174 de la Carretera Central desde de Lima a Huancayo. Posee un clima seco con una humedad relativa promedio anual del 50% y una temperatura promedio anual de 10 ºC. Con tiempos de lluvia en los meses de Diciembre a Marzo y los meses de Abril a Noviembre de escasas lluvias.

Los dos productos principales que se funden son Cobre y Plomo. Los tres productos principales que se refinan son Cobre, Plomo y Zinc, existiendo también refinación de Indio, Cadmio, Oro y Plata.

El circuito de zinc se encuentra ubicado dentro de la Fundición. Para la obtención de zinc se trata

principalmente concentrado de Mahr Tunel y Paragsha (Concentradora de Cerro de Pasco).

En el circuito de Zinc se tiene las siguientes plantas ordenadas segun como se desarrolla el proceso:

## CIRCUITO DE ZINC

### 1. TOSTACION DE ZINC

#### 1.1 Sección de Predigonación

#### 1.2 Sección Tostación Cama Fluida (F.B.R)

#### 1.3 Sección Tostación Cama Turbulenta (T.L.R)

### 2. ELECTROLITICA DE ZINC

#### 2.1 Sección Molienda y Cernido

#### 2.2 Sección de Lixiviación

#### 2.3 Sección de Separación de Sólidos

#### 2.4 Sección Purificación

#### 2.5 Sección Casa de Celdas

#### 2.6 Sección Fusión-Tratamiento de Escoria

#### 2.7 Moldeo

### 2.2 Características de operación

#### 2.2.1 Diagrama de flujo

La calcina que proviene de la tostación F.B.R. se encuentran almacenados en un enfriador (9B), del que se descargan hacia unos transportadores redler (7B1, 7B2) instalados en paralelo y con una

pendiente ascendente de  $10^{\circ}$ . Los redlers descargan en una faja 160 inclinada ascendentemente  $9^{\circ}$  la cual descarga en unos transportadores de gusano (2S1, 2S2: en paralelo e inclinados ascendentemente  $10^{\circ}$ ). Los gusanos 2S1 y 2S2 dan inicio a la sección de Molienda y Cernido.

Los transportadores de gusano 2S1, 2S2 descargan en la zaranda vibratoria 451, 452 respectivamente, la que clasifica a la calcina fina de la calcina gruesa.

La calcina gruesa se descarga a través de unos ductos a dos molinos de bolas (2G2 y 2G3) y a un transportador de gusano que alimenta al molino de bolas (2G1).

Cada uno de estos molinos en su descarga posee unas mallas acopladas al molino, llamados Trommel para asegurar el paso de finos.

El producto de los tres molinos es descargado a un transportador de gusano 1T1 instalado horizontalmente y un gusano 1T2 en stand-by. El gusano 1T1 colecciona la calcina y la descarga a un transportador redler 2T1 instalado verticalmente y con un redler 2T2 en stand-by.

El redler 2T1 descarga a un gusano 3T3, del que retorna la calcina molida a la faja 160, generando así un circuito cerrado que permite que los gruesos de la molienda sean clasificados nuevamente.

La calcina fina que es clasificada en las zarandas

son almacenadas temporalmente en una tolva 65 definos. La cual alimenta a los redler 4T1, 4T2: intalados verticalmente.

La calcina fina que porviene del proceso de tostación con T.L.R. y la que porviene del proceso de recuperación de polvos Cottrel Central (sistema de recuperación de polvos por medios electrostáticos) son almacenados en el silo 4.

La calcina del silo 4 a traves de un alimentador rotativo descarga al gusano del silo 4, el que alimenta a los redlers 4T1 y 4T2.

Los redles 4T1 y 4T2 elevan la calcina fina desde el primer piso hasta el quinto piso (donde se encuentran instalados los redler 5T1 y 5T2. Los redler 4T1 y 4T2 descargan a los redler 5T1 y 5T2, estos a su vez alimentan a los redlers del proceso de lixiviación y a los silos 1, 2, 3. Con los redlers 5T1 y 5T2 finaliza la sección de molienda y cernido.

Generalmente los redles 5T1 y 5T2 descargan a los redlers del proceso de lixiviación, pero hay casos en que el consumo de calcina fina por la planta de lixiviación es menor a la cantidad de calcina que pasa de la sección de molienda y cernido, por esa razón se usan los silos 1, 2, 3 para almacenar la calcina fina que la planta de lixiviación aun no requiere.

Cuando la planta de lixiviación requiera mas

calcina fina se pone en operación los silos 1, 2, 3 descargando la calcina a través de unos alimentadores rotativos a un redler transportador 5TS, que descarga a un gusano 6TS y éste finalmente alimenta a los redlers 4T1 y 4T2, para seguir con el transporte de la calcina. Ver el diagrama de flujo del circuito de Molienda y Cernido de Calcina de Zinc (Plano Nro.1).

### 2.2.2 Memoria descriptiva

La sección de molienda y cernido es una planta que clasifica a la calcina de zinc entre los granos y finos gruesos. Los granos gruesos son enviados hacia tres molinos de bolas 2G1, 2G2 y 2G3 con los que se realiza una molienda fina.

El objetivo de la planta es la de entregar calcina fina como resultado de la molienda, con las siguientes características de tamaño según la serie Tyler:

-----  
Retenido malla Nro. 35 en un 3%, como máximo.  
-----

Pasa malla Nro. 35 en un 97%, como mínimo.  
-----

Para que en el proceso de lixiviación el contacto y la reacción entre la calcina y el reactivo se

realize en un tiempo óptimo y se obtenga más zinc, es necesario que el polvo de calcina pase en mayor porcentaje por la malla Nro. 35.

Lo que se muele y se cierre la calcina que proviene del proceso de tostación cama fluida (F.B.R.).

Lo que se almacena en el silo 4 es la calcina que proviene del proceso de tostación en cama turbulenta (T.L.R.) así como también la calcina que proviene del sistema de recuperación de polvos por medios electrostáticos (Cottrel Central). Ver Apendices 1 y 2.

En la planta de tostación existen dos formas de tostación para el concentrado de zinc:

**Tostación en cama fluida (F.B.R.).**

**Tostación en cama turbulenta (T.L.R.).**

El proceso de tostación T.L.R. es un proceso de tostación moderno en comparación al F.B.R.

El proceso de tostación T.L.R. permite trabajar con el concentrado de zinc directamente.

El proceso de tostación F.B.R. requiere que previamente el concentrado sea transformado en forma de perdigones.

La calcina que se obtiene de la tostación F.B.R. es una calcina perdigonada que posee granos finos y granos gruesos. Esta calcina es la que se envía al circuito de molienda y cernido.

Los gases que se generan en la tostación son enviados a un recuperador de polvos electrostáticos



(Cottrel). Los gases que resultan de la tostación F.B.R. contienen un gran porcentaje de calcina de zinc. Estos polvos recuperados son enviados al silo 4 a través de sistemas neumáticos.

La capacidad de molienda y cernido es de 288 TM/día.

Las condiciones de operación de la planta crea una polución permanente, con altas concentraciones de contaminantes dificultando los trabajos del mantenimiento y operación.

Estas condiciones hacen necesaria la instalación adecuada de un sistema de ventilación, materia del desarrollo de esta trabajo.

## **2.3 Características Ambientales**

### **2.3.1 Origen de la polución**

La calcina de zinc posee un contenido de partículas finísimas de polvo, que en el transporte, debido a las presiones internas de aire dentro de la caja de los equipos se dispersan y salen con mayor visibilidad por las zonas de carga y descarga de los equipos.

Los equipos que se utilizan en transporte de calcina son los conocidos como gusanos, redlers cuyo principio de operación es el arrastre de la calcina. Este material es bastante abrasivo y desgasta a los equipos con facilidad.

En las zonas de descarga de los molinos de bolas

se tienen instalados una malla llamado Trommel que rota a la velocidad del molino generando polución.

### 2.3.2 Tipo de contaminación

El tipo de contaminante que hay en planta es el polvo de calcina de zinc, por su contenido de los minerales de zinc, plomo y otros son considerados dañinos a la salud. La forma física del contaminante es un polvo que poluciona en el ambiente, cubriendo a la planta con polvo de calcina de zinc. El problema que causa en la planta es que enrarece el ambiente reduciendo la visibilidad dentro de ella, dificultando las operaciones de mantenimiento y operación de la planta y la respiración del personal.

### 2.3.3 Niveles de contaminación

En general la planta se encuentra cubierta con polvos de calcina de zinc.

Los puntos donde la polución es considerable son:

- Los molinos.

Puntos de transferencia (cuando la calcina pasa de un sistema de transporte a otro).

La contaminación que se genera en estos puntos tiene un alto nivel de concentración.

Las concentraciones ambientales promedio de los contaminantes plomo y zinc son de:

1.305 mgrs Pb/m<sup>3</sup>

51.143 mgrs Zn/m<sup>3</sup>

Las concentraciones ambientales permisibles son:

0.2 mgr/m<sup>3</sup> de plomo

5.0 mgr/m<sup>3</sup> de zinc

\* Fuente: Reglamento de Seguridad de Bienestar  
Minero, Anexo IV.

## DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DE DISEÑO

### 3.1 Características generales del polvo

#### 3.1.1 Definición

El polvo que se genera en la sección de molienda y cernido esta compuesto de partículas sólidas de calcina de zinc suspendidas en el aire, con tamaños de partículas menores a los 100 micrones, gravedad especifica de 5,32, abrasivo, ligeramente ácido (PH6), soluble en agua, inodoro, de color rojizo, se encuentra a temperatura ambiente y seco, se adhiere con facilidad a todo tipo de superficies, tóxico por sus concentraciones de plomo, zinc y azufre, el azufre produce picazon en los ojos y la piel, corrosivo, no explosivo, pero que fácilmente se introduce en las fosas nasales.

La calcina de zinc es óxido de zinc ( $ZnO$ ), producto que se obtiene del proceso de tostación de los concentrados de zinc en la planta de tostación.

La tostación transforma los sulfuros de zinc ( $ZnS$ )

en óxidos de zinc (ZnO) los cuales son fácilmente solubles en las operaciones subsiguientes de lixiviación, generándose durante la tostación gas SO<sub>2</sub> para la producción de ácido sulfúrico de 98.5% de concentración.

Durante la tostación se da una serie de reacciones de entre las cuales la siguiente es la reacción principal:



La reacción se lleva a cabo a 647 °C, dando lugar a la tostación del sulfuro de zinc (Zn S). A ésta temperatura el sulfuro de Zinc y el oxígeno (O<sub>2</sub>) reaccionan en forma espontánea. Las propiedades del polvo son definidos por las propiedades de la calcina de zinc y el aire, medio en el que se encuentran dispersos. Por lo que se describirán a continuación las propiedades químicas y físicas de cada uno de ellos:

### 3.1.2 Propiedades químicas

#### A. Propiedades químicas

##### 1. Composición química

La calcina de zinc esta compuesto de los siguientes elementos químicos:

ELEMENTO	SIMBOLO	grm/TM	COMPOSICION PORCENTAJE
Antimonio	Sb		0,03 %
Cobre	Cu		0,33 %
Plomo	Pb		1,90 %
Zinc	Zn		59,50 %
Cadmio	Cd		0,17 %
Fierro	Fe		10,90 %
Azufre	S		3,00 %
Azufre*	S/S		1,60 %
Plata	Ag	207	----

\* Soluble en ácido.

Se observa que la calcina de zinc esta compuesta por más del 50% de zinc, 10% de Fierro, 1% de plomo, 3% de asufre y 207 gr/TM de plata.

Esto es importante, ya que al recuperar el polvo de calcina de zinc se esta recuperando zinc, fierro y plata a la vez que se evita la contaminación del aire.

## 2. Tóxicidad

Mediante las evaluaciones ambientales hechas en la sección de molienda y cernido se han determinado que el plomo y zinc, son los elementos que existen en mayor concentración y que son perjudiciales para la salud.

## 3. Solubilidad

La calcina de zinc posee un contenido de humedad de 0,51%, por lo que se convierte en un polvo con capacidad de absorción de agua.

#### 4. Concentración (mgr/m<sup>3</sup>)

La concentración de la calcina de zinc es de 687,72 mgr/m<sup>3</sup>. De las evaluaciones ambientales se tiene que la planta presenta una concentración de zinc metálico de 409,19 mgr/m<sup>3</sup>. De la composición química de la calcina se obtiene que el zinc metálico esta presente con 59,5%.

De donde:

La concentración de calcina de zinc es:

$$409,19 \times \frac{100}{59,5} = 687,72 \text{ mgr/m}^3$$

#### B. Propiedades físicas

##### 1. Estado

La calcina de zinc son partículas sólidas muy finas, que se encuentran a temperatura un poco superior a la del medio ambiente +10 °C , debido a la energía interna que almacena por la fricción a la que es sometida la calcina en todas las operaciones de molienda y cernido. Fricción debida al sistema de transporte que es de arrastre (uso de gusanos transportadores, elebadores de eslabones redler)

## CUADRO Nro. 1

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL POLVO DE CALCINA DE  
ZINC

Abertura de malla, micrones	Polvo de calcina de Znc, porcentaje en peso
+ 149 um	0,20 %
106 um	0,08 %
74 um	0,10 %
53 um	0,12 %
44 um	0,29%
38 um	0,14 %
20 um	96,00 %
-20 um	3,07 %
	100,00 %

\* Fuente: Laboratorio Investigaciones metalúrgicas  
5-10-91

## CUADRO Nro. 2

## COMPOSICION QUIMICA DEL AIRE

COMPONENTE	FRACCION EN VOLUMEN	FRACCION EN PESO
Nitrogeno	0.7809	0.75520
Oxigeno	0.2095	0.23150
Argón	0.0093	0.0128
Dioxido de Carbón	0.0003	0.00040

Pequeñas porcentajes de neon, hidrogeno, helio, kriptón, Ozono y otros.

\* Fuente : J.A. Goff, Standarización de propiedades termodinámicas del aire humedo.



## 2. Tamaño

El tamaño de las partículas del polvo de la calcina de zinc, se aprecia en el Cuadro Nro. 1, análisis granulométrico.

## 3. Densidad

La densidad es 2,08 Ton/m<sup>3</sup>.

### A. Gravedad específica.

La gravedad específica de la calcina de zinc es 5,32.

### 3.1.3 Propiedades del aire.

#### A. Propiedades químicas

1 Composición química del aire seco ver cuadro Nro.2

#### B. Propiedades físicas

1. Presión atmosférica 65 Kpa (19,21 pulg de Hg)

2. Temperatura 10 °C (50 °F)

3. Contenido de humedad 50%

\*Fuente : Investigaciones metalúrgicas.

## 3.2 Determinación de los puntos de generación de contaminación

### 3.2.1 Definición

La determinación de los puntos de generación de contaminación se basa en el estudio del proceso u operación que se desarrolla en la planta.

La industria minera en particular presenta formas

de contaminación diferentes en cada una de las etapas como son:

- a. En la extracción de minerales ya sea de tajo abierto o en minas subterráneas.
- b. En el transporte y almacenamiento del mineral.
- c. En la reducción del tamaño.
- d. En la clasificación, concentración y mezclado.
- e. En el secado.

Este capítulo describe las operaciones y procesos que se desarrollan en la industria minera, para conocer las diferentes formas y fuentes de generación de contaminación, así como también sus métodos de ventilación. Basados en esta descripción estudiar las operaciones que se desarrollan en la sección de molienda, y cernido para poder determinar los puntos de generación de contaminación que se dan en la planta.

### **3.2.2 En la Industria Minera**

La transformación del mineral desde su estado natural hasta tenerlo como un producto listo para comercializarlo requiere de varios procesos y operaciones.

Las operaciones principalmente consisten en cambios físicos, y los procesos mayormente consisten en alteraciones químicas. Ciertas unidades de operación (Ejm. manipuleo del material, zarandeo, mezclado) son comunes, prácticamente en todo procedimiento de producción de mineral. Las cuales

serán comentadas a continuación.

La Tabla 1 menciona las técnicas de control de contaminación del aire aplicable a estas unidades de operación.

#### Operaciones generales

### A. MINA

#### 1. Mina subterráneo.

Problemas de contaminación del aire pueden ser creados cuando se interrumpe la ventilación del aire a la mina subterránea. Tales problemas no son muy frecuentes y además son fáciles de controlar, en la mayoría de los casos con la reubicación de los túneles de venteo.

#### 2. Mina de tajo abierto.

La cantidad de partículas producidas durante las operaciones en minas de tajo abierto son descargadas directamente a la atmósfera, en vez de ser capturadas por sistemas de ventilación, ya que su control es dificultoso.

Muchas de las operaciones en minas de tajo abierto tienen una vida de operación indefinida lo cuál haría que la instalación permanente de un sistema de ventilación para polvos sea económicamente impráctico.

Por lo tanto, el control de los polvos debería ser sólo a nivel de prevención en los puntos en los cuales se genera la contaminación mediante

**TABLA 1 : TECNICAS DE CONTROL DE LA POLUCION EN LA INDUSTRIA MINERA**

OPERACION	TECNICAS DE CONTROL DE LA POLUCION
<p><b>A: EN LAS MINAS</b></p> <p>Mina de tajo abierto</p> <p>Volado de la mina</p>	<p>Pavimentar el piso periodicamente con aceite, agua, cubrir con <math>\text{CaCl}_2</math>, y/o limpiar; cubrir los carros para preveer el derrame; limpiar las ruedas del carro.</p> <p>Controlar el tamaño del volado, utilizar sprays de agua inmediatamente despues del volado y volar unicamente cuando la corriente del aire y las condiciones metereologicas sean favorables y puedan diluir el polvo.</p> <p>El perforado debe hacerse en humedo; o instalar sistemas de ventilacion por aspiracion localizada.</p>
<p><b>B: TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO</b></p> <p>Fajas transportadoras</p> <p>Elevadores</p> <p>Chutes de descarga</p> <p>Almacenamiento en pilas de material</p>	<p>Enclaustrar e instalar sistemas de ventilacion por aspiracion localizada o utilizar sprays de agua con especial atencion en los puntos de transferencia.</p> <p>Enclaustrarlos e instalar sistemas de ventilacion por aspiracion localizada.</p> <p>Chutes telescopicos deben descargar tan cerca como sea posible de las pilas del mineral o utilizar sprays o sistemas de aspiracion en el punto de descarga.</p> <p>En claustrar (usar silos, tolvas, etc); cubrirlos (con plasticos, vegetacion, etc.); o quebrar las corrientes de aire (con arboles o barricadas)</p>
<p><b>C. REDUCCION DE TAMAÑO</b></p> <p>Molienda y Cernido</p>	<p>Enclaustrar los puntos de polucion e instalar sistemas de ventilacion por aspiracion localizada; inyectar sprays con agua, instalar campanas en la descarga o carga de los molinos, siempre que sea posible realizar las operaciones en humedo.</p>

OPERACION	TECNICAS DE CONTROL DE LA POLUCION
D: CONCENTRACION, CLASIFICACION Y MEZCLADO	Enclaustrar e instalar sistemas de aspiracion; en lo posible realizar las operaciones en humedo.
E: SECADO	En lo posible use secado indirecto. Instalar un sistema de aspiracion con un colector adecuado.

Referencia : Mineral Product Industries, Air Pollution

Tomo IV

Pag. 707

sistemas húmedos y equipos portátiles para el control de los polvos.

## B. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

Técnicas bien analizadas en el manipuleo del material y la automatización han reducido la contaminación del aire en estas operaciones. Reduciendo el número de transferencias y el periodo de tiempo requerido por cada uno debería ser la primera consideración en un programa para reducir la contaminación del aire.

Cargar y descargar. La descarga y los puntos de transferencia en una faja transportadora, gusano, redlers y las operaciones de almacenamiento producen emisiones de cantidad de partículas. Sistemas locales de ventilación y sprays húmedos pueden controlar estas emisiones efectivamente.

La falta de atención a la erosión del viento producida en el material almacenado crea una "paradoja del control de la contaminación del aire" Si el polvo coleccionado proveniente de los equipos de control se almacenan en lugares abiertos. La erosión del aire a este polvo almacenado puede causar tal contaminación como la originada por las operaciones que se están controlando.

Emisiones de gas pueden ser producidas por la

evaporación de materiales que se encuentran almacenados. También existe la posibilidad de reacción química entre los materiales almacenados. Un ejemplo de esto es la emisión de sulfuro de hidrógeno de la combinación de escoria (CaS) y agua. La hidrólisis ocurre cuando la escoria caliente es enfriado con agua durante la producción y cuando la lluvia cae en las pilas de escoria almacenados. La hidrólisis de sulfuro de calcio en la escoria resulta en la formación de sulfuro de hidrógeno:



### C. REDUCCION DE TAMAÑO

Las operaciones de reducción de tamaño se clasifican tanto como chancado ó molienda, de acuerdo al tamaño en la alimentación y a la reducción que se desea alcanzar. Las operaciones de chancado generalmente implica tamaños de alimentación y la reducción de tamaño desde 3:1 hasta 10:1. Las operaciones de molienda, pulverización y desintegración generalmente implica tamaños de alimentación desde 0,05 a 0,5 pulgadas (1,3 a 12,7 cm) y reducción de tamaño desde 10:1 hasta 50:1. Chancadoras de quijada, giratorias, de cono, rodillos y los molinos de bolas, etc. Son los

comunmente utilizados.

Varios tipos de chancadoras y molinos estan generalmente operando en serie (a veces en circuito cerrado con un clasificador) para obtenerse la reducci3n de tama1o deseado.

El polvo se emana desde la entrada y descarga de la chancadora y molino. Para un mayor y efectivo control del polvo las chancadoras y molinos deber3an encerrarse y proveerles un sistema de ventilaci3n con un colector apropiado.

#### **D. CLASIFICACION, CONCENTRACION Y MEZCLADO**

Continuando a las operaciones de reducci3n de tama1o, los minerales son generalmente clasificados, concentrados y/o mezclado para obtener una composici3n o consistencia de tama1o deseado. Sistemas locales de ventilaci3n han sido especificamente dise1ados para controlar las emisiones de polvo de estas operaciones.

Operaciones de zarandeo en sistemas abiertos pueden ser una de las mayores fuentes de concentraciones de polvo.

Las zarandas deben estar tapadas 3 cerradas. Las areas de abertura en los sistemas cerrados deben ser los m3nimos. Velocidades de entrada en estas aberturas deber3an ser las adecuadas para preveer el escape del polvo. Velocidades de 100 a 200 pies por minuto (30 a 61 m/min) han sido



consideradas suficientes, en muchos casos los sistemas de ventilación deben de contar con un colector eficiente.

### **3.2.3 En la sección de molienda y cernido**

Para la planta de molienda y cernido la preparación de calcina consiste en una operación de clasificación y molienda de la calcina a tamaños de una malla 35, según serie Tyler. Todas las operaciones se realizan con calcina seca.

Las operaciones que se desarrollan en la planta son las siguientes:

1. Transporte de calcina
2. Clasificación de calcina
3. Molienda de calcina
4. Almacenamiento de calcina

#### **1. Transporte de calcina**

Todo el transporte de calcina se realiza con gusanos transportadores helicoidales y transportadores de eslabones (redler) para elevar la calcina de un piso a otro.

Tanto el gusano transportador como el redler son sistemas de transporte de arrastre. Por lo cual genera polvo en toda su longitud de transporte y en los puntos de transferencia.

#### **2. Clasificación de calcina**

Se utiliza una zaranda vibratoria que clasifica la calcina en malla +/- 35 (según serie Tyler).

### 3. Molienda de calcina

La molienda se realiza en seco y se utiliza molinos de bolas. a los cuales se les ha instalado una malla (trommel) para una clasificación en la descarga. Este es el lugar de mayor polución.

### 4. Almacenamiento de calcina

Para almacenar calcina la planta cuenta con cuatro silos.

Para la determinación de los puntos de contaminación habrá que conocerse lo siguiente:

1. El proceso que se desarrolla en la planta.

1.1 Proceso de operación de los equipos

1.2 Condiciones del material.

2. Realización de pruebas para determinar:

2.1 Tipos de contaminación

2.2 Niveles de contaminación

Para conocer el proceso que se desarrolla en la planta, debemos conocer cómo operan los equipos. La sección de molienda y cernido cuenta con zarandas, molinos y equipos de transporte. Todos estos equipos tienen la característica de que en todo momento están moviendo el material.

En cuanto a las condiciones del material, para el desarrollo del proceso subsiguiente de lixiviación se requiere que la calcina esté seca. Todos los equipos están constantemente moviendo la calcina y esto genera polvo que contamina permanentemente el medio ambiente.

Por lo tanto nuestro problema de contaminación del aire se presenta en las operaciones de:

1. Transporte y almacenamiento.
2. Reducción de tamaño.
3. Clasificación.

De estas operaciones se tienen los siguientes puntos de contaminación:

- a: Puntos de transferencia
- b: Zonas de carga y descarga
- c: En los molinos

### 3.3 Cantidad de polvo que se genera en puntos de contaminación

#### 3.3.1 Definición

La cantidad de polvo en los puntos de contaminación es la cantidad de polvo en gramos por metro cúbico ( $\text{gr/m}^3$ ) que se genera en la fuente de contaminación. Ver Apéndice 3.

### 3.4 Velocidad de succión

#### 3.4.1 Definición

Es la velocidad que se tiene en cualquier punto

delante de la campana.

Velocidad necesaria que supera la dispersión producida por las corrientes de aire y captura el contaminante, produciendo un flujo hacia el interior de la campana.

### 3.4.2 Tipos de Velocidades

a. **Velocidad de succión.**- Velocidad del aire en cualquier punto frente a la campana, velocidad necesaria para superar las fuerzas de dispersión que genera las corrientes de aire y capturar el aire contaminado, creando un flujo hacia el interior de la campana.

b. **Velocidad de cara.**- Velocidad del aire frente a la campana sin rejillas.

c. **Velocidad en las rejillas.**- Velocidad que se da en un tipo de campana con rejillas. Las rejillas son utilizadas como un medio para obtener una distribución uniforme del aire a la entrada de la campana.

d. **Velocidad en el plenum.**- Velocidad del aire en el plenum, para una buena distribución de velocidades en campanas que poseen rejillas. La velocidad máxima en el plenum deberá ser la mitad de la velocidad en las rejillas.

e. **Velocidad en el ducto.**- Es la velocidad en la sección transversal del ducto. Cuando existe material sólido en suspensión presente en el flujo

de aire, la velocidad del ducto debe ser igual a la mínima velocidad de transporte.

**f. Velocidad de transporte.-** Velocidad requerida mínima de aire para mover las partículas en el flujo de aire.

### 3.4.3 Determinación de la velocidad de succión

En la determinación de velocidades óptimas de succión influyen un número de factores que incluyen la naturaleza del proceso y las propiedades de dispersión del medio ambiente inmediato.

La naturaleza del proceso implica el tamaño de la partícula y las velocidades con que se originan o son lanzadas al ambiente.

Se conoce que las partículas de polvo con tamaño de alrededor al micron, aunque sean arrojadas a altas velocidades, viajan en el aire pequeñas distancias. Pero las partículas de polvo más finas y menores a un micron siguen a las corrientes de aire y generalmente se les denomina como partículas suspendidas en el aire.

Por otro lado las partículas de polvo más grandes son arrojadas a altas velocidades, tienen trayectorias apreciables y cruzan el aire. Este tipo de partículas no pueden ser capturadas a menos que las campanas esten en su trayectoria.

De las propiedades de dispersión del medio ambiente se tienen que la velocidad de succión debe ser lo

suficientemente grande para superar la turbulencia alteradora de las corrientes de aire generadas por:

- a. Movimiento de las piezas de trabajo dentro y fuera de las zonas ventiladas.
- b. Trafico de máquinas y personal en el ambiente inmediato a la campana de extracción.
- c. Corrientes de aire provenientes de ventanas abiertas, o lugares expuestos al aire libre, de plataforma de carga y de equipos de ventilación y calefacción.

Es importante conocer que en el diseño de sistemas de ventilación, el primer paso es: encerrar a la fuente de contaminación para evitar que sea dispersado por las corrientes de aire del medio ambiente inmediato. Segundo paso instalar la campana de succión del sistema de ventilación.

Esto es necesario por que permite diseñar el sistema de ventilación con velocidades de succión menores. Influye reduciendo el costo del sistema de ventilación ya que las velocidades son menores y las perdidas en ductos, codos, expansiones, entradas a la campana, etc., serán menores. La determinación de la velocidad de succión requiere de realizar pruebas y también de la experiencia que posea el diseñador en sistemas de ventilación, y poder determinar la velocidad adecuada al proceso. A continuación mostraremos algunas recomendaciones para velocidades de succión:

TABLA 2: RANGO DE VELOCIDAD DE SUCCION

CONDICIONES DE DISPERSION DEL CONTAMINANTE.	EJEMPLOS	VELOCIDAD DE SUCCION FPM.
Arrojados practicamente con ninguna velocidad hacia un aire moderadamente en reposo.	Evaporacion de los tanques, degreasing, etc.	de 50 a 100
Arrojados con baja velocidad hacia un aire moderadamente en reposo.	Llenado de contenedores; puntos de transferencia en fajas a baja velocidad; soldadura.	de 100 a 200
Arrojados con cierta velocidad hacia un aire en rapido movimiento.	Pintado de tanques con sopletas; llenado de barriles; chancado; carga a un transportador.	de 200 a 500
Arrojados a altas velocidades iniciales a una zona de rapido movimiento de aire.	Molienda; samblasteado abrasivo.	de 500 a 2 000

Referencia 1. Industrial Ventilacion; Pag. 4 y 5.

Referencia 2. Air pollution.

En procesos de mineria han sido encontrados suficientes para preveer escape de polvo, las velocidades de succion de 100 a 200 fpm (30 a 61 m/min).

Referencia 3. Plant and Process Ventilation.

Para muchos sistemas de ventilación que tengan cajas que encierren a la fuente de contaminación y en el que el contaminante se encuentra frío, es decir donde no se tengan gases calientes ni otro tipo de contaminante a alta temperatura, la velocidad de succión requerida es de 50 a 200 fpm.

### 3.5 Configuración del sistema

#### 3.5.1 Definición y criterios

La configuración del sistema consiste en plantear la ubicación del equipo de colección, ventilador y determinar la trayectoria de los ductos.

La ubicación de los equipos de colección, ventiladores y ductos obedecen principalmente a razones de espacio y a que hay que instalarlos tan cerca como sea posible de las fuentes de contaminación para reducir costos de instalación del sistema de ventilación.

Para que la configuración sea funcional y cumpla con los requisitos mencionados se tendrá en cuenta los siguientes criterios:

1. Ubicar zonas de espacio suficiente para la trayectoria de los ductos y ubicación de los equipos.
2. No interferir ni interrumpir las labores de mantenimiento y operación de la planta. No alterar la arquitectura de la planta.
3. Considerar estar cerca a vigas y columnas para



facilitar la instalación y montaje del sistema.

4. Evitar tramos horizontales largos y cambios de dirección para evitar sedimentaciones de partículas y pérdidas de energía.
5. Luego del diseño verificar la resistencia de las estructuras para la nueva carga adicional.
6. Luego del diseño verificar que el tamaño de ductos, equipos de colección y ventiladores encagen dentro del espacio inicialmente designado.

### **3.5.2 Normas y especificaciones**

El diseño correcto, una buena instalación de ductos y campanas son necesarias para el apropiado funcionamiento del sistema de ventilación.

Los siguientes son las normas y especificaciones mínimas recomendadas.

#### **Generalidades.**

Todo sistema de ventilación debe ser construido con los materiales recomendados y deberá ser instalado en forma permanente, a la que el operario tenga acceso para su inspección y limpieza. El interior de los ductos deberá estar listo y libre de obstrucciones, con juntas soldadas.

#### **Materiales.**

1. Los ductos deberán construirse con planchas de

acero A-36 ó con planchas de acero galvanizado a menos que la presencia de gases corrosivos, vapores y otras condiciones de servicios que hacen inadecuados el uso de tales materiales.

La construcción con planchas galvanizadas no son tan recomendados para temperaturas mayores a 200 °C (400 °F).

2. Para sistemas de ventilación y aplicaciones no corrosivas, los siguientes espesores de metal serán utilizados.

Diámetro del ducto pulg.	Uso standard Gauges para ductos de acero
hasta 18"	grado 12
de 18" a 30"	grado 11
superior a 30"	grado 10

3. Para sistemas de ventilación con aplicaciones corrosivas, se considerará el uso de materiales no corrosivos o recubrimientos adecuados.
4. Los codos deberán tener como mínimo 2 grados más que los ductos longitudinales de igual diámetro.
5. Las campanas deberán tener 2 grados más que los ductos longitudinales al que se conecta.

### Construcción.

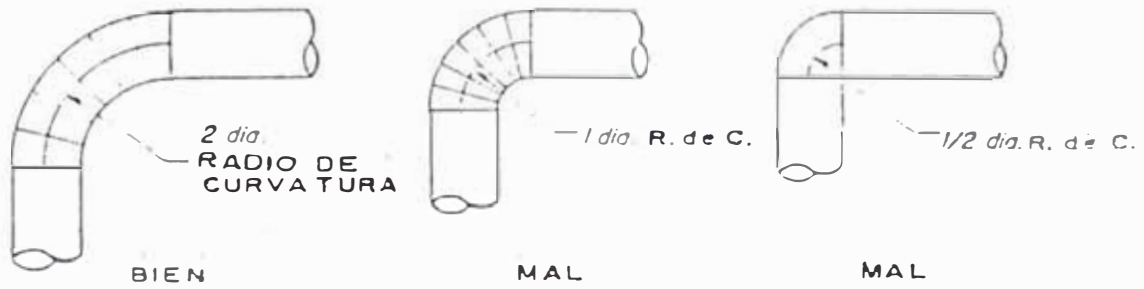
1. Las uniones de los ductos longitudinales deberán realizarse con bridas.
2. Los codos deberán tener un radio 2 veces el diámetro en lo posible. Radios más grandes son

recomendados para construcciones pesadas o para polvos muy abrasivos. La construcción de codos hasta 6" de diámetro deberán tener como mínimo 5 secciones, superiores a las 6" de diámetro 7 secciones.

#### Detalles del sistema.

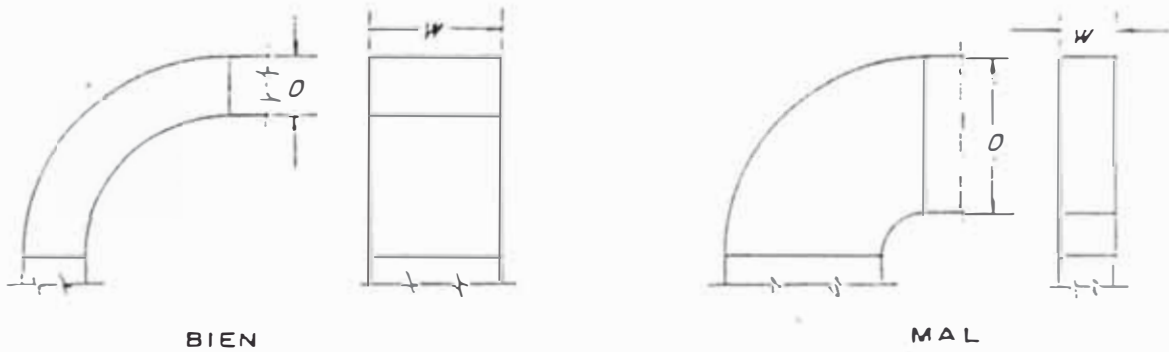
1. Las transiciones en los ductos para 5" de longitud se dará 1" de incremento en el diámetro en lo posible.
2. Todas las entradas al ducto principal deberán realizarse con un ángulo que no exceda los 45 °; se prefiere 30 °.
3. Proveer la compuerta de limpieza cada 10' y cerca a los codos.
4. Los soportes del ducto deberán instalarse cada 12' para menos de 8" de diámetros, 20' para ductos de mayor diámetro.
5. Proveer 6" como mínimo de luz entre los ductos y los techo, paredes o pisos.
6. El ventilador y el motor se debe instalar en una cimentación común que absorva la vibración.

Ver Figuras Nro.: 1, 2, 3, 4, 5 y 6.



RADIO DE CURVATURA EN CODOS

DE PREFERENCIA SE DEBE TENER UN RADIO DE CURVATURA IGUAL A 2 O 2 1/2 VECES EL DIAMETRO, A MENOS QUE EL ESPACIO NO LO PERMITA.



RELACION ANCHO A LARGO

MANTENER UNA RELACION ( $\frac{W}{D}$ ) ALTA CUANDO SE UTILIZE UN DUCTO RECTAGULAR.

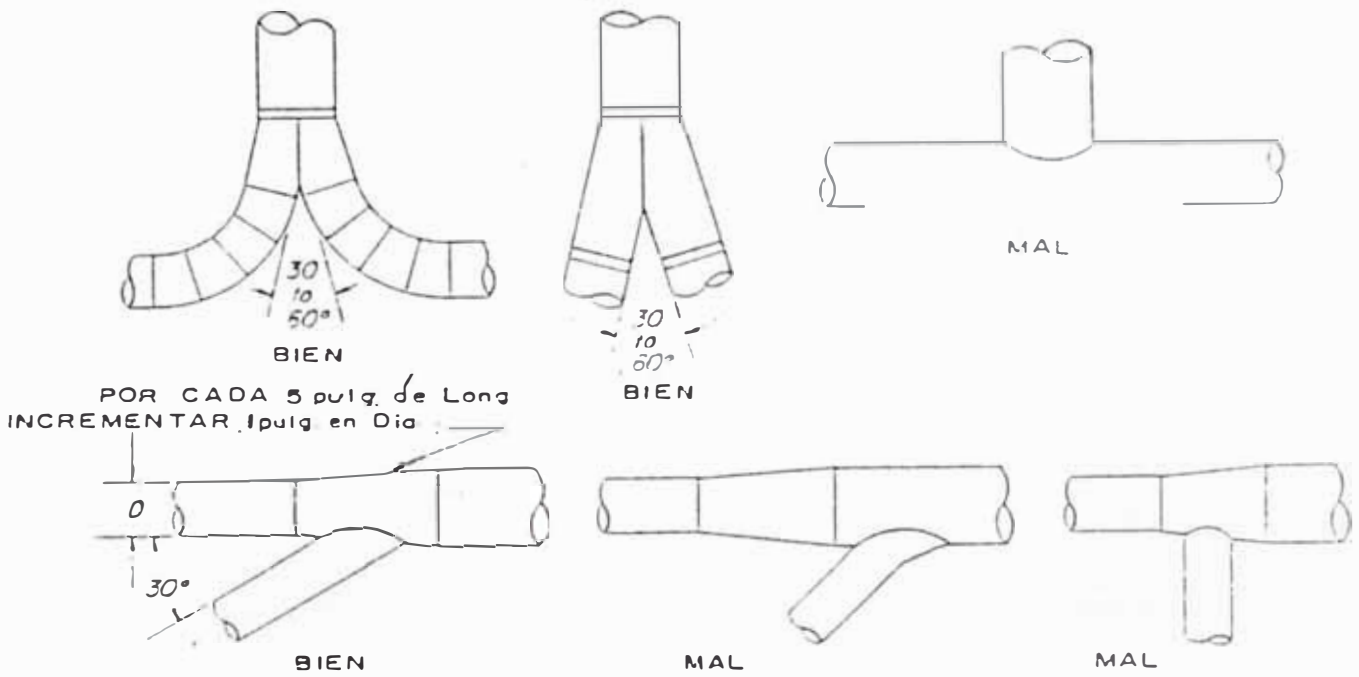


$V_m$  = VELOCIDAD MINIMA DE TRANSPORTE  
 $A$  = SECCION TRANSVERSAL

DIMENCIONAMIENTO ADECUADO DEL DUCTO

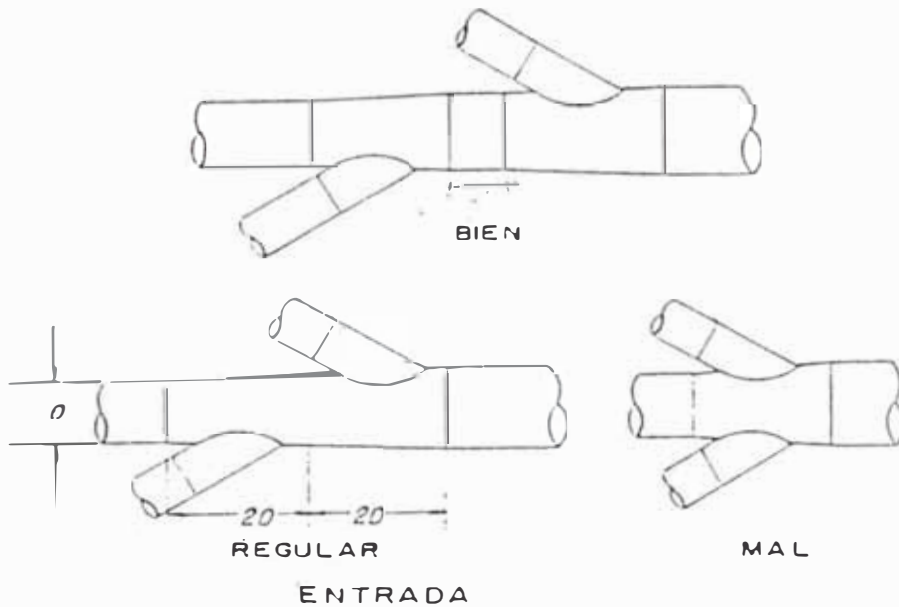
DIMENCIONAR EL DUCTO PARA MANTENER UNA VELOCIDAD MINIMA DE TRANSPORTE O MAYORES VELOCIDADES

FIG. 1 . RECOMENDACIONES PARA RADIOS DE CURVATURA, RELACION ANCHO A LARGO y DIMENCIONAMIENTO ADECUADO DEL DUCTO.



ENTRADA

LAS ENTRADAS DEBEN INGRESAR EN UNA EXPANSION. CON UN ANGULO DE 30° O MENOS DE PREFERENCIA O A 45° SI ES NECESARIO.



DOS ENTRADAS NO DEBERIAN DARSE EN UNA SOLA EXPANSION

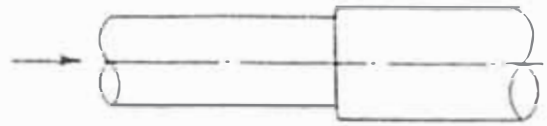
FIG.2. RECOMENDACION PARA ENTRADA

EXPANCIÓN EN EL DUCTO



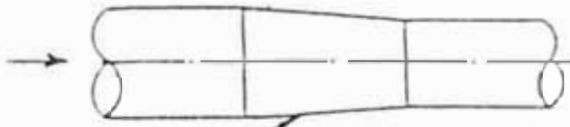
POR CADA 5 pulg. de Long.  
INCREMENTAR 1 pulg. en el Dia.

BIEN

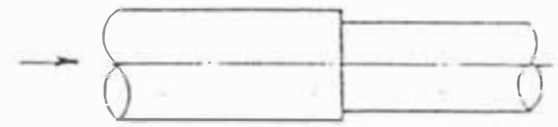


MAL

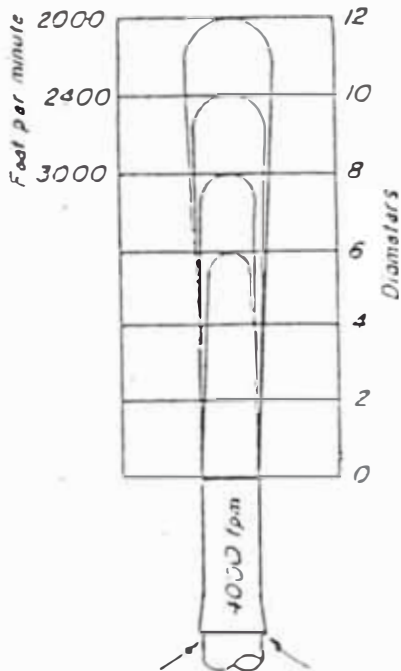
CONTRACCIÓN EN EL DUCTO



POR CADA 5 pulg. de Long.  
INCREMENTAR 1 pulg. en el Dia.



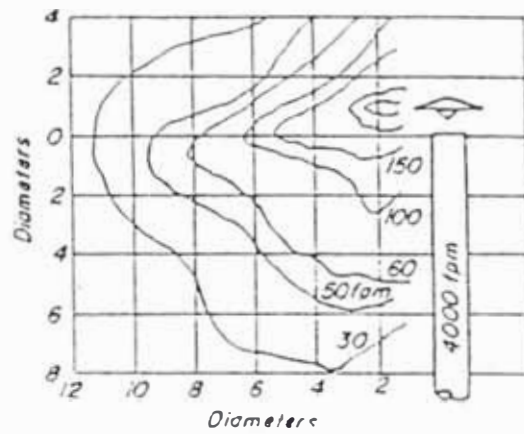
DESCARGA DE CHIMENEA



BIEN--

DESCARGA VERTICAL SIN CUBIERTA PERMITE DESCARGAR DONDE SE PUEDA DILUIR EL CONTAMINANTE.

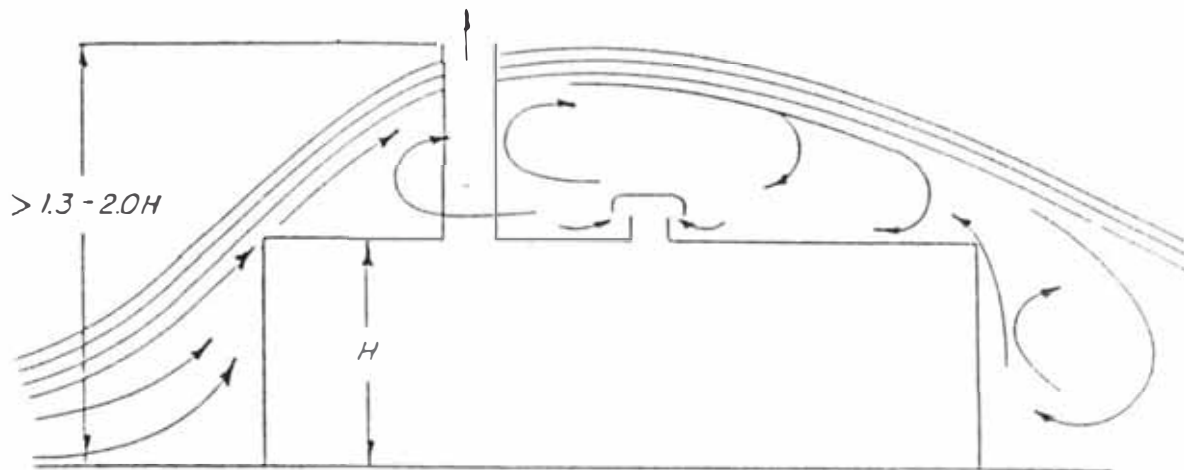
CUBIERTA DE CHIMENEA



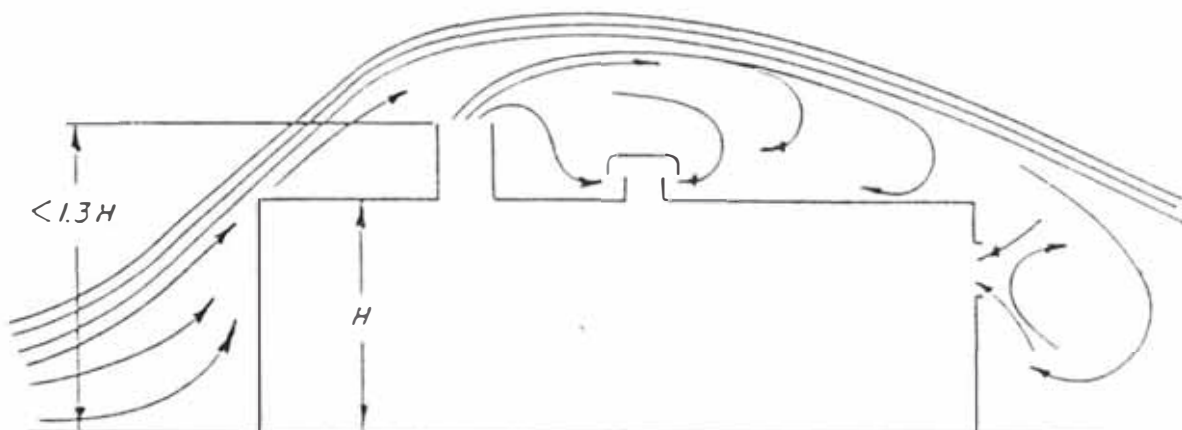
MAL

LA CUBIERTA PRODUCE UN EFECTO DE DESCARGA HACIA ABAJO.

FIG. 3. RECOMENDACION PARA EXPANSIONES Y CONTRACCIONES EN DUCTOS



BIEN  
 ELEVA ALTURA DE LA CHIMENEA EN COMPARACION CON LA ALTURA DEL EDIFICIO.  
 EL AIRE INGRESA AL EDIFICIO POR EL TECHO



MAL  
 BAJA ALTURA DE LA CHIMENEA EN COMPARACION CON LA ALTURA DEL EDIFICIO.  
 EL AIRE INGRESA AL EDIFICIO POR EL TECHO Y PARED

NOTA: SOLO APLICABLE A EDIFICIOS DE ALTURA MODERADA

FIG. 5. RECOMENDACIONES DE ALTURA DE CHIMENEA

#### 4.

#### DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACION

##### 4.1 Diseño de la campana.

##### 4.1.1 Conceptos y criterios de diseño.

El diseño de la campana en sistemas de ventilación requiere de dos pasos preliminares:

1. Conocer el proceso y operación que dan origen a la contaminación.
2. Eliminar toda clase de corriente de aire alrededor del proceso y operación.

Para lograr el control efectivo en un proceso de contaminación, se debe eliminar todo tipo de corrientes de aire alrededor del proceso, así como encerrar y enclaustrar alrededor el lugar de la fuente de contaminación.

La eliminación de toda corriente de aire es un paso importante en el diseño de la campana, esto permitirá reducir el volumen de aire requerido en el control de la contaminación y el consumo de potencia



Las corrientes de aire son originadas por diversas fuentes; a continuación indicaremos algunas de ellas:

1. Corrientes de aire que se originan por las aberturas de ventanas, puertas y en general de lugares abiertos.
2. Por el desplazamiento de los operarios cerca a los lugares de contaminación.
3. El movimiento de maquinarias, fajas transportadores, etc.
4. Movimiento del material, como en el llenado de un container silos, tolvas, etc.
5. Por los equipos de ventilación y sistemas de acondicionamiento de aire.
6. Las corrientes técnicas, producidas por procesos con generación de calor.

El diseño de la campana está en función de los siguientes factores:

- a. La forma.
- b. El tamaño.
- c. La ubicación.
- d. La cantidad de aire que absorbe.

Para que las campanas resulten eficaces, es preciso que la velocidad de aspiración en el espacio comprendido entre la fuente y la campana sea suficiente para captar todas las impurezas situadas debajo de la campana.

La velocidad de aspiración debe ser también capaz

de vencer las corrientes de aire transversales que pueden desviar las impurezas fuera del alcance de la aspiración de la campana.

En todo el plano de la entrada de la campana debe reinar una velocidad de aspiración completamente uniforme. La eficiencia de una campana depende esencialmente de su forma.

**a. La forma.**

Al diseñar la forma de la campana, se debe de determinar los siguientes parámetros:

1. La forma de boca de aspiración (circular, cuadrada ó rectangular).
2. El uso de la campana piramidal.
3. El ángulo en la cúspide (comprendida entre las generatrices de la pirámide o cono).
4. La altura de la campana.

Tener presente, al momento de decidir cada uno de los parámetros, la eficiencia de la campana. Esto es, que la forma de la campana debe garantizar dos cosas:

1. Garantizar una aspiración uniforme, es decir que la distribución de velocidades debe ser uniforme en la boca de aspiración.
2. Garantizar mayores velocidades de succión.

Para decidir la forma de la boca de aspiración, hay que remitirse al estudio de los sumideros en la

aerodinámica teórica de los fluidos ideales (fluidos no viscosos).

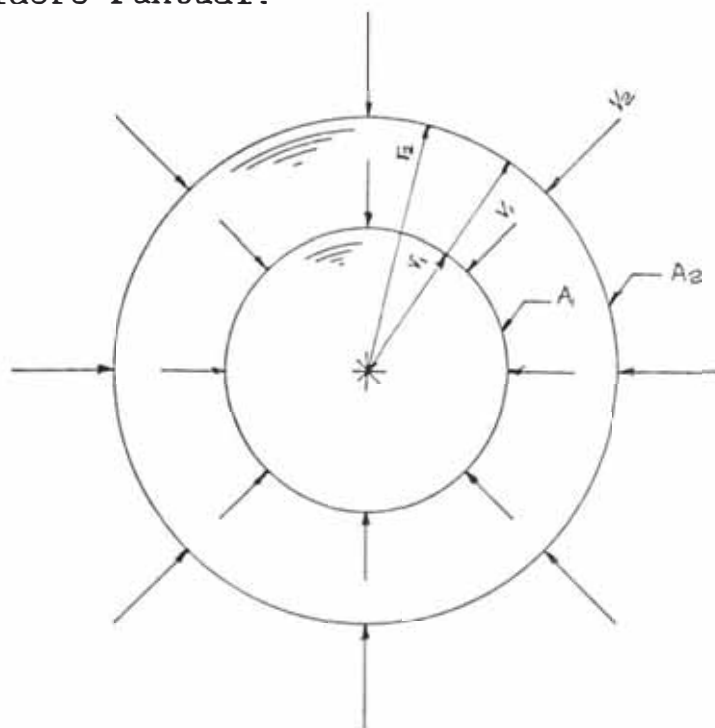
Esta teoría estudia los sumideros puntuales y lineales. Se entiende por **sumidero puntual**, un punto por el que se extrae el fluido continua y uniformemente. Un **sumidero lineal** es una serie continua de sumideros puntuales adyacentes.

Una pequeña esfera con muchísimas perforaciones diminutas por las que se aspire aire constituye un modelo tosco de sumidero puntual. Y como ejemplo de un sumidero lineal se dá a una rejilla infinitamente larga ubicada en el espacio.

Esta teoría demuestra que las velocidades son inversamente proporcionales a los cuadrados de los radios, en un sumidero puntual. Para los sumideros lineales o rejillas de longitud infinita, las velocidades son inversamente proporcionales a los radios.

DEMOSTRACION DE LA VARIACION DE VELOCIDADES EN UN  
SUMIDERO PUNTUAL Y LINEAL.

Sumidero Puntual.



Leyenda.

\* Representación de un sumidero puntual. Punto ubicado en el espacio.

$A_2$  : Area de control, igual al área de una esfera a la distancia  $r_2$ .

$V_2$  : Velocidad de control ó velocidad de succión a  $r_2$

$A_1$  : Area de control, igual al área de una esfera a  $r_1$

$V_1$  : Velocidad de control a  $r_1$

Sabemos :  $Q = V \times A$

A una posición  $r_2$  :  $Q_2 = V_2 \times A_2$

Donde:  $A_2 = 4/3 \pi \times r_2^2$

A una posición  $r_1$  :  $Q_1 = V_1 \times A_1$

Donde:  $A_1 = \frac{4}{3} \pi r_1^2$

Por continuidad:  $Q = \text{cte}; Q_1 = Q_2$

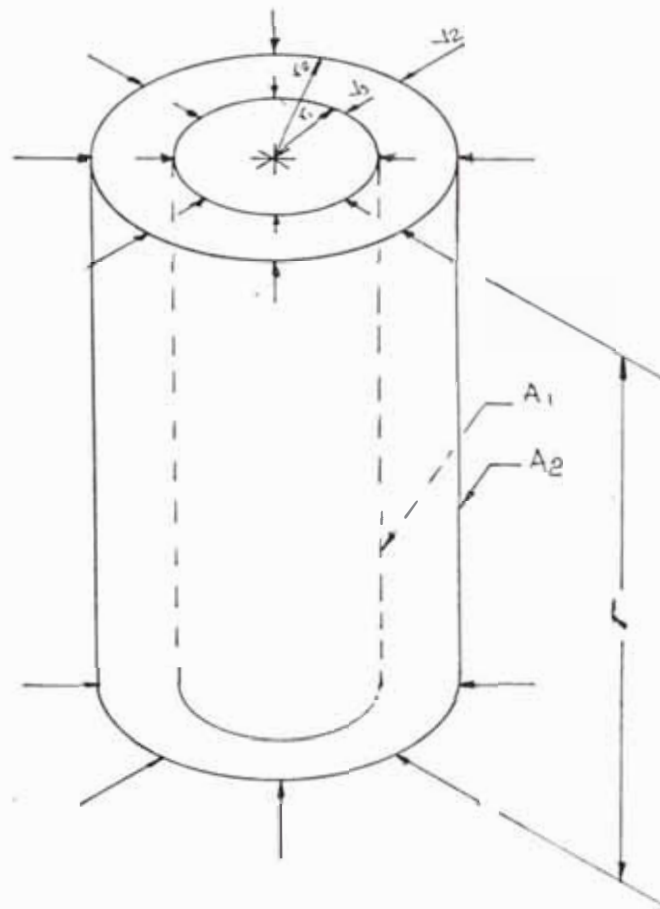
$$V_1 \left( \frac{4}{3} \pi r_1^2 \right) = V_2 \left( \frac{4}{3} \pi r_2^2 \right)$$

$$V_1 r_1^2 = V_2 r_2^2$$

Variación de velocidades en un orificio puntual:

$$\frac{V_1}{V_2} = \left( \frac{r_2}{r_1} \right)^2$$

**Sumidero Lineal.**



Leyenda.

\* Representación de un sumidero lineal.

$A_1$  : Area de control, igual al área de un cilindro

a la distancia  $r_2$

$V_2$  : Velocidad de control a distancia  $r_2$ .

$A_1$  : Area de control a  $r_1$ .

$V_1$  : Velocidad de control a  $r_1$

$L$  : Longitud del sumidero lineal.

Sabemos :  $Q = V \times A$

A una posición  $r_2$  :  $Q_2 = V_2 \times A_2$

Donde:  $A_2 = 2 \pi r_2 L$

A una posición  $r_1$  :  $Q_1 = V_1 \times A_1$

Donde:  $A_1 = 2 \pi r_1 L$

Por continuidad:  $Q = \text{cte}; Q_1 = Q_2$

$$V_1 ( 2 \pi r_1 L ) = V_2 ( 2 \pi r_2 L )$$

$$V_1 r_1 = V_2 r_2$$

Variación de velocidades en un sumidero Lineal:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

Ejemplo:

Consideramos que para una distancia  $r_1 = 5''$  , se tiene una velocidad de control  $V_1 = 100$  f.p.m.

Cálculo la velocidad de control  $V_2$ , a una distancia  $r_2 = 10''$ . En un sumidero puntual y en un sumidero lineal.

Para sumidero puntual:

De la distribución de velocidades:

$$\frac{V_1}{V_2} = \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2$$

Reemplazando:  $r_1 = 5''$ ,  $V_1 = 100$  f.p.m,  $r_2 = 10''$

Se tiene:

$$V_2 = V_1 \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 = 100 \left( \frac{5}{10} \right)^2$$

$$V_2 = 25 \text{ f.p.m}$$

Para sumidero lineal:

De la distribución de velocidades

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{r_1}{r_2}$$

Reemplazando  $r_1 = 5''$ ,  $V_1 = 100$  f.p.m,  $r_2 = 10''$

Se tiene:

$$V_2 = V_1 \left( \frac{r_1}{r_2} \right) = 100 \left( \frac{5}{10} \right)$$

$$V_2 = 50 \text{ f.p.m}$$

Por lo que se concluye que un sumidero lineal tiene velocidades de control (velocidades de succión) mayores a las encontradas en un sumidero puntual.

Si en un sumidero puntual se tiene que la velocidad disminuye con el cuadrado de la distancia y en un sumidero lineal la velocidad disminuye solo con la distancia. Se concluye, que para una distancia dada habra mayor velocidad de succión en un sumidero lineal que en un sumidero puntual.

Los sumideros lineales y puntuales proporcionan una representación teórica de las variaciones de la velocidad provocadas por los orificios de aspiración. Para distancias mayores que un diámetro ó un ancho de abertura finita, las velocidades calculadas con las fórmulas anteriores constituyen una buena aproximación de los valores verdaderos.

Para distancias menores; en las cercanias de un orificio de aspiración, la velocidad real del fluido difiere considerablemente de la calculada teóricamente para sumideros puntuales y lineales, por tanto deben determinarse mediante experimentos.

Se tiene información sobre estos experimentos. Ver fig.7 y 8. Hay que mencionar, que cuando se aspira através de ductos y abertura cuadradas, la distribución de velocidades en una sección de aspiración cuadrada difiere poco de la obtenida cuando se aspira por una sección de aspiración circular.



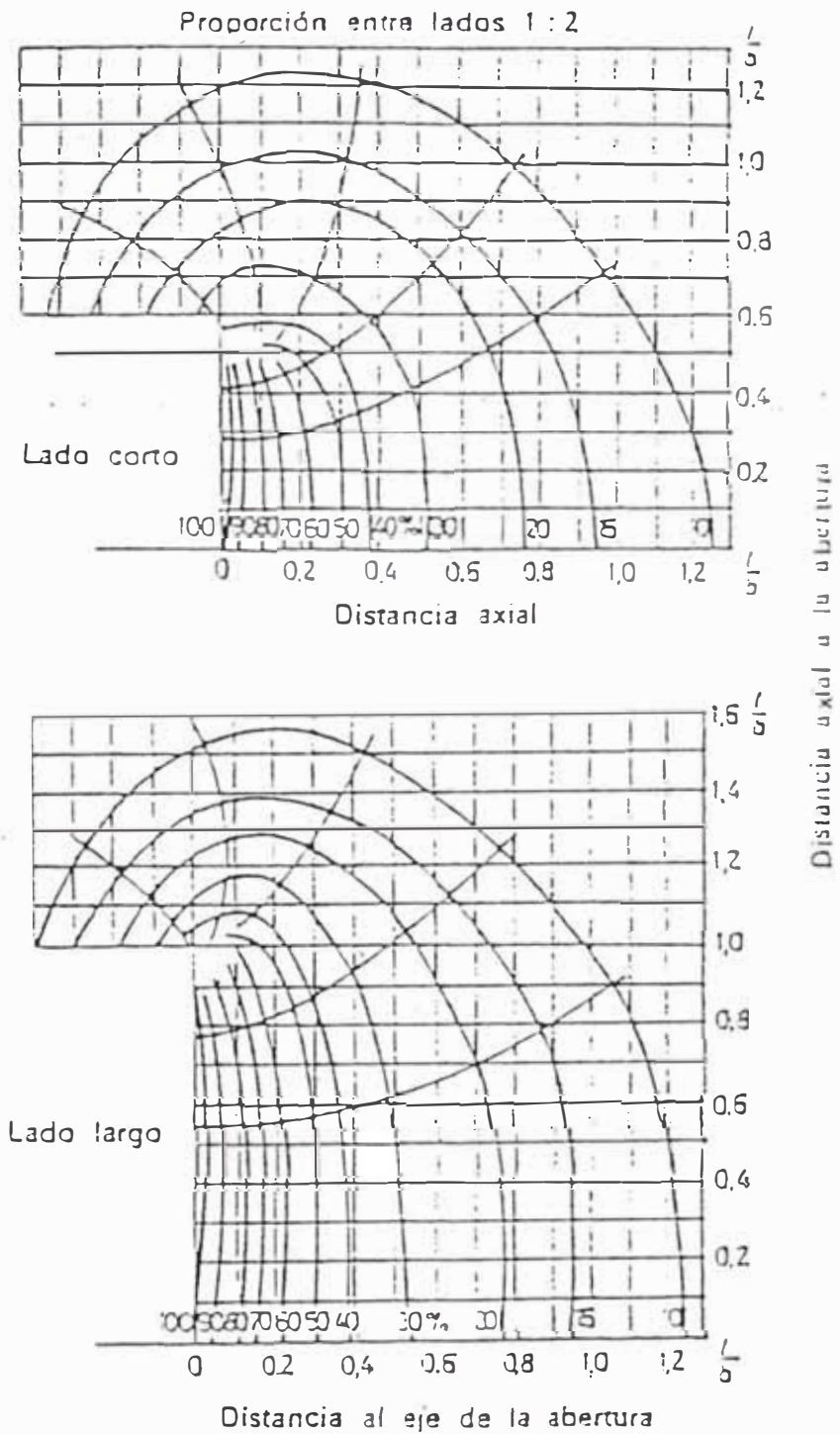


FIG. 7 . Contornos de velocidad en una abertura de aspiración rectangular con relación de dimensiones 1:2

En las figura 7 y 8, las líneas normales a las curvas de velocidades iguales, representan la dirección de la corriente. Se ha comprobado que si las velocidades se expresan en fracciones de la velocidad central o velocidad media en el orificio y las distancias se expresan como fracciones de una dimensión característica (Por ejemplo, para una abertura circular su diámetro o el lado menor de un orificio rectangular). La distribución de velocidades en los orificios geoméricamente semejantes, permanece inalterada, es decir, que es independiente de las dimensiones lineales y la velocidad de aspiración.

Volviendo a la distribución de velocidades en un orificio circular, vemos que en las cercanías del orificio, las líneas que representan velocidades iguales se parecen mas a elipses que a circunferencias. A una distancia apróximadamente igual a "d", las líneas de velocidad delante del orificio se pueden definir satisfactoriamente como semicírculos cuyo centro está situado apróximadamente en medio del orificio de aspiración.

Por consiguiente, la variación de las velocidades a distancias mayores se puede calcular apróximadamente como si se tratará de un sumidero puntual.

En las figuras 7 y 8 las velocidades se dan con

respecto a la velocidad en el centro del orificio de aspiración ( $V_i$ ).

Para orificio circular.  $V_i/V$  - de 0,945 a 0,95

Para orificio cuadrados.  $V_i/V$  - 0,95

Para orificios rectangulares.  $V_i/V = 1$

Donde:

$V$  = Velocidad media en el orificio (caudal volumétrico por unidad de área).

Las distancias se dan como una fracción de  $l/b$ , donde  $l$ , distancia axial desde el orificio hacia el exterior,  $b$ , dimensión del lado menor en una sección rectangular.

La importancia es que se puede observar que para una misma distancia (por ejemplo para  $l/b = 0,4$ ) se tiene que la velocidad en porcentaje es:

En un orificio circular 28 %

En un orificio rectangular

Con relación de lados 1 : 2 38 %

En un orificio rectangular

Con relación de lados 1 : 10 - 50 %

Se tiene, que habrá mayor velocidad de succión en un orificio rectangular que en uno circular. En el orificio rectangular de mayor relación de lados permite mayores velocidades de succión.

Por lo tanto, la geometría de la boca de aspiración debe ser rectangular, de preferencia.

## 2. Uso de la campana piramidal.

Experimentos realizados por T.A. Fialkovskaya y V. V. Baturin, en el que comparan una campana piramidal de boca cuadrada de dimensiones 750 mm x 750 mm, con las de un ducto de sección cuadrada sin campana piramidal se comprueba que la velocidad de succión en la campana piramidal de boca cuadrada es mayor que en la del ducto. Por lo cual se debe usar la campana piramidal.

## 3. El ángulo ( $\Theta$ ) en la cúspide ( ángulo de la piramide).

De los experimentos realizados por T.A. Fialkooskaya y V.V. Baturin, en los que se comparan seis campanas de diferentes tamaños y formas, en las que la boca de aspiración es rectangular, siendo la proporción de lados 1:1, 1:2, 1:3 y 1:4.

La altura (h) de la campana, el ángulo ( $\Theta$ ) en la cúspide y la razón de area (A) del orificio de aspiración al area (a) de la sección transversal del conducto al que esta incorporada la campana, variarán en el transcurso de los ensayos.

En este experimento el ángulo ( $\Theta$ ) varió de 60° a 100° y A/a de 9 a 39.

El ensayo permiten obtener los siguientes resultados:

1. La variación de velocidad en el eje central depende del ángulo de la campana y es casi independiente de su altura y de la relación de dimensiones en la sección de la boca de aspiración.

A mayores ángulos les corresponde mayores velocidades axiales relativas.

2. La variación de la velocidad en el plano de la boca de aspiración de la campana depende también del ángulo en la cúspide de la misma. Las diferencias entre las velocidades relativas en puntos situados en los ejes, ejes centrales, permanecen invariables si se cambia la altura de la campana sin variar el ángulo.

En campanas con un ángulo de  $90^\circ$ , la velocidad en el punto central es  $V_i = 1,65 V$ , pero decrece rápidamente hacia los bordes. Con un ángulo de  $60^\circ$ , la velocidad en el centro es muy cerca a  $V$ . (velocidad media en el centro de la campana) y permanece inalterada hasta los bordes de la campana.

Esto indica que para obtener una aspiración uniforme el ángulo en la cúspide de la campana debe ser  $\Theta = 60^\circ$ . La altura de la campana, como sabemos por los experimentos de V. V. Baturin, la altura de la campana poco influyente en las variaciones de velocidad de succión ya que ellos son solo función

del ángulo en la cúspide. Se recomienda que las campanas no sean bajas y alargadas, ya que resulta imposible de conseguir aspiración uniforme. Por tanto es recomendable que la altura se adapte a los ángulos de la cúspide y la disponibilidad de espacio al instalar la campana.

#### **b. El tamaño.**

Sabemos que para obtener distribuciones de velocidad de succión uniformes el ángulo de la piramide debe ser de  $60^\circ$  y que la sección de la boca de aspiración debe ser rectangular. También que a mayor relación de lados en la sección rectangular se tendrá mayores velocidades de succión. La recomendaciones indican que se deben tomar relaciones de lados de 0,2 a mayores.

El tamaño, principalmente es función de la cantidad de aire. Para que el sistema funcione eficazmente, es preciso que con la cantidad de aire aspirado no sea inferior al caudal final de la corriente ascendente, pues de lo contrario, el exceso de aire contaminado se escaparía de la campana hacia el interior del edificio. Es decir que cuando el aire contaminando se dirige hacia el interior de la campana en cantidades superiores a las que es capaz, de aspirar sale el aire por el borde inferior de la campana y contamina la zona de trabajo.

### c. La ubicación.

Nuestro sistema de ventilación, es un método de ventilación por aspiración localizada. Es un método de ventilación muy eficaz. Las impurezas se recogen en su fuente, con lo que se impide que puedan contaminar la totalidad del aire del edificio.

Por lo tanto, el principio que debe tenerse presente para determinar la ubicación de la campana es ubicar los focos de contaminación y tener una idea general de la naturaleza de las corrientes de aire que se originan en los focos de contaminación. Los dibujos de la figura 9, están destinados a proporcionar cierta idea de dicha corrientes.

La figura 9a muestra una corriente ascendente de aire originada por un cuerpo caliente cualquiera (un molde lleno de metal fundido, un baño industrial de agua o solución acuosa caliente, etc.). Este tipo de corriente, además de calor pueden arrastrar gases, vapores o polvos nocivos.

La figura 9b muestra una corriente de gases muy calientes que salen por la puerta de carga de un horno industrial que trabaja con un ligero exceso de presión. Esta corriente puede ir acompañada de humo, vapores y hollín. En la figura 9c, d, g se pueden observar las corrientes de polvo que se forman cuando se trabaja con muelas abrasivas o discos cortantes de otros tipos (afilado de herramientas, rectificaciones, pulimentación, etc).

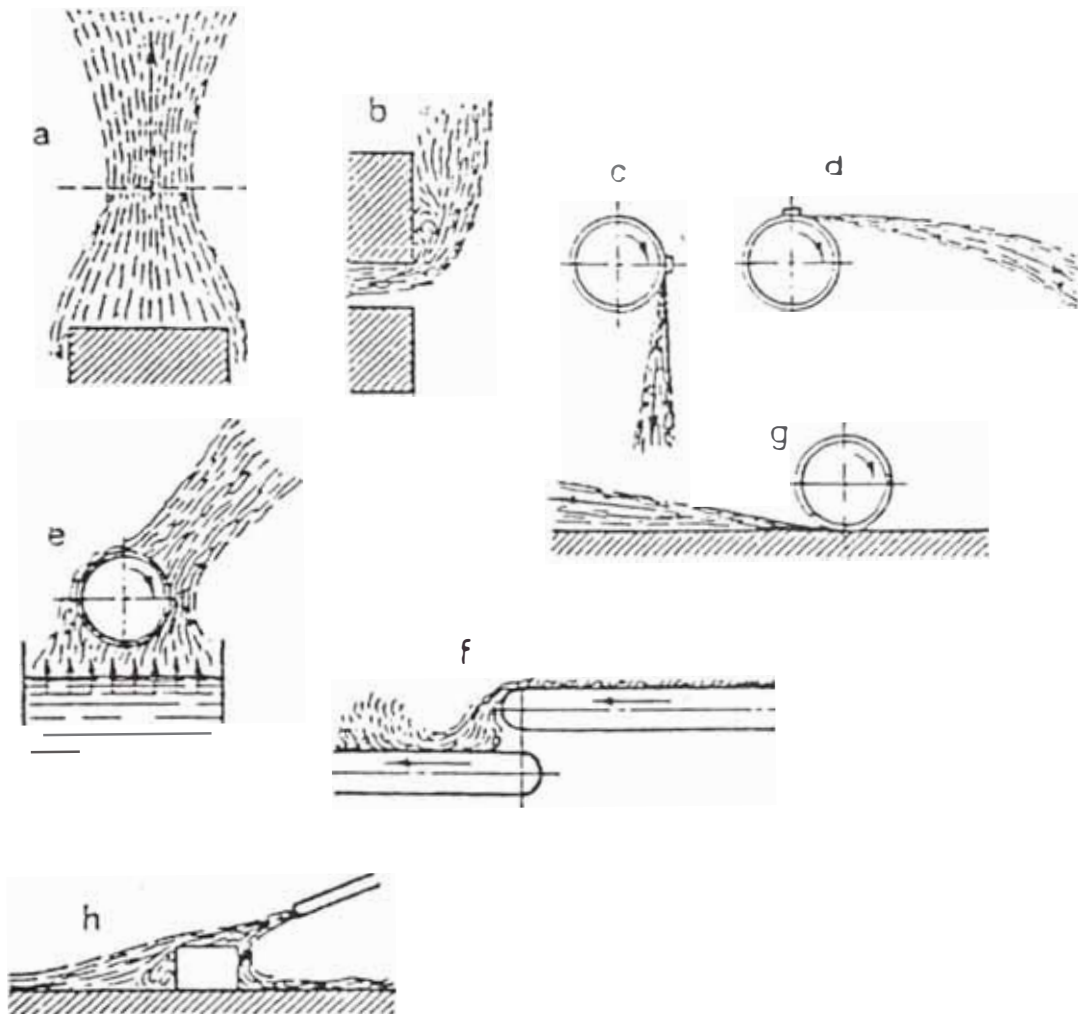


Fig. 9 . Representación esquemática de las líneas de corriente del aire en los focos de contaminación frecuentes en la industria. 9-a, 9-c, d, 9-e, 9-f, 9-g, 9-h.



En la figura 9c se muestra la corriente originada en rodillos giratorios, como los empleados para teñir y secar tejidos cuando se calientan mediante el vapor que asciende de un baño. La rotación de los cilindros desvía la corriente de vapor de la dirección vertical.

En la figura 9f se muestra la corriente de **aire** polvoriento que se origina cuando se vierte material en polvo. Cuando se vierte el material se libera el aire que éste lleva atrapado, pero arrastra consigo gran cantidad de partículas diminutas. además, el aire así liberado aumenta la presión. Este fenómeno ocurre cuando se transfiere material de una banda transportadora a otra, cuando se carga a una tolva, cuando se carga de un elevador de eslabones a otro, etc.

En la figura 9h se puede ver el tipo de corriente que se origina cuando se limpia con chorro de arena o se pinta a pistola. En este caso el chorro de arena o de pintura es expandido por la boquilla a una presión de 2 a 4 atmósferas.

#### d. La cantidad de aire que absorbe.

El saber que cantidad de aire debe absorber la campana, como extraer el **aire** contaminado y en general cómo diseñar un sistema de ventilación que resulte funcional, eficaz y económico, son los principales problemas de ventilación.

Por lo tanto, es importante determinar correctamente la cantidad de aire que debe extraer por la campana, por lo que: (a) es preciso conocer como varían las velocidades de succión en las cercanías de la entrada de la campana, (b) determinar el volumen de la corriente de aire que se origina en el foco de solución y (c) evaluar los efectos de las corrientes transversales de aire en la estabilidad de la corriente que va del foco de solución a la campana.

Para el cálculo de la cantidad de aire se multiplica la velocidad de succión promedio que se tiene en la boca de aspiración por el área de dicha boca, es decir:

$$Q = V \times A$$

Donde: Q = Cantidad de aire (caudal)

V = Velocidad promedio en la sección de entrada a la campana (boca de aspiración)

A = Sección de entrada a la campana (boca de aspiración)

Considerando los resultados experimentales de Pruzner, quien propone las fórmulas empíricas de distribución de velocidades, en las cercanías de los orificios de aspiración, para campanas con bridas ó rebordes. Se podrá evaluar la velocidad

promedio ( $V$ ) en la sección de entrada de la campana.

Relaciones de Pruzner, son:

1. Para secciones circulares y cuadradas, en los que:

$$\frac{l}{R_h} \leq 2 \frac{V_1}{0.95 V - V_1} = 0.8 \left( \frac{l}{R_h} \right)^{-1.4}$$

2. Para secciones rectangulares, en los que:

$$\frac{l}{R_h} \leq 2 \frac{V_1}{V - V_1} = 0.8 \left( \frac{l}{R_h} \right)^{-1.4}$$

3. Para secciones circulares, en los que:

$$\frac{l}{R_h} > 2 \frac{V_1}{V} = \left( \frac{l}{R_h} \right)^{-2}$$

4. Para secciones cuadrados, en los que:

$$\frac{l}{R_h} > 2 \frac{V_1}{V} = \frac{4}{\pi} \left( \frac{l}{R_h} \right)^{-2}$$

5. Para secciones rectangulares, en los que:

$$\frac{l}{R_h} > 2 \frac{V_1}{V - V_1} = \left( \frac{l}{R_h} \right)^{-2}$$

Donde:

$V_1$  = Velocidad axial ó (veloc. de succión).

$l$  = Distancia axial en la que se desea una

velocidad de succión ( $V_1$ ) adecuada, para captar la máxima cantidad de impurezas.

$$R_h = \text{Radio hidráulico} \left( R_h = \frac{A}{P} = \frac{\text{AREA}}{\text{PERIMETRO}} \right)$$

La velocidad axial o de succión ( $V_1$ ).

Está en función de las condiciones de dispersión del contaminante y la presencia de corriente transversales de aire. Esta velocidad se establece de acuerdo a la necesidad de atrapar la cantidad máxima de impurezas. Ver Tabla 2.

La distancia axial (l).

Esta en función del proceso que genera la contaminación. Es la distancia medida desde el orificio de succión hacia el lugar donde se quiera capturar la máxima cantidad de impurezas.

Cálculo del área de la boca de aspiración (A).

La relación de lados de la boca de aspiración de la campana no corresponde a requerimientos de ventilación, sino a la disponibilidad de espacio que lo permita, sin interferir con las operaciones que se desarrollan en la planta. Se recomienda para cálculo de área, mantener la relación de lados de 1:2.

Al iniciar el dimensionamiento de la sección (A), se tiene que tomar como referencia la menor distancia que se tenga disponible en el lugar a

ubicar la campana.

Las relaciones de Pruzner, solo en válidas hasta que:

$$\frac{l}{b} \quad \text{ó} \quad \frac{l}{d} \quad \leq 1.5$$

Donde:

b = Lado menor para una sección rectangular.

d = Diámetro en una sección circular.

l = Distancia axial.

Para el caso en que:

$$\frac{l}{b} \quad \text{ó} \quad \frac{l}{d} \quad > 1.5$$

La distribución de velocidades, a distancias mayores se puede calcular las velocidades aproximadamente como si se tratará de un sumidero puntual o lineal, según sea la sección cuadrada, circular o rectangular, respectivamente.

La relación de velocidades para:

$$\frac{l}{b} \quad \text{ó} \quad \frac{l}{d} \quad > 1.50, \quad \text{son:}$$

Para sección circular ó cuadrada.

$$\frac{V_1}{V_2} = \left( \frac{r_2}{r_1} \right)^2 ;$$

Para sección rectangular.

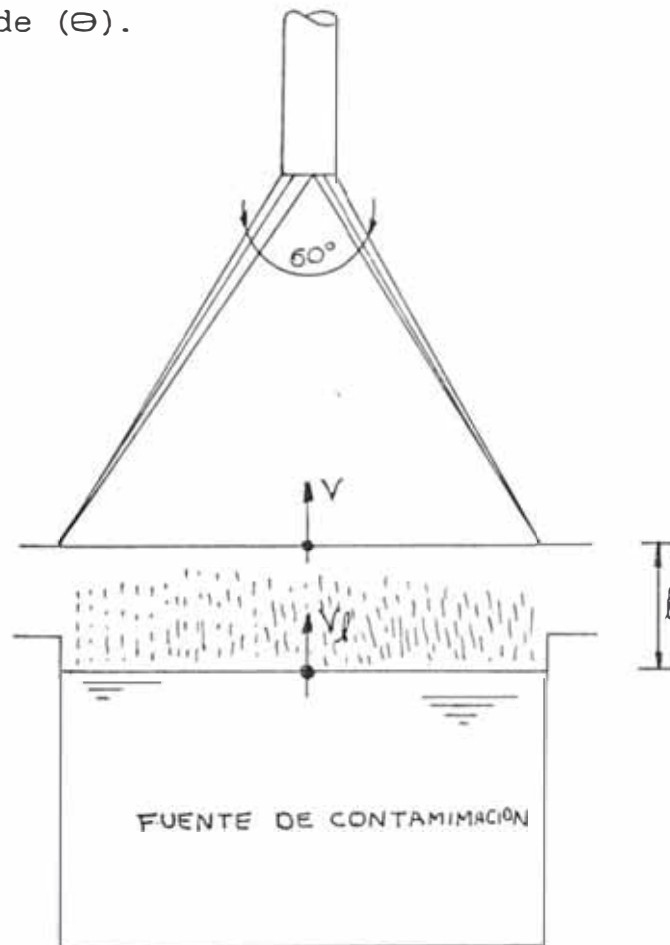
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{r_2}{r_1} ;$$

La utilización de estas relaciones nos permitirá determinar velocidades hasta distancias en que :

$$\frac{l}{b} \quad \text{ó} \quad \frac{l}{d} = 1.5$$

Obtenido esta relación utilizar las relaciones Pruzner, para finalmente evaluar la velocidad media (V). Ver figura 10.

Fig 10. Ubicación de la velocidad axial ( $V_1$ ), distancia axial (l), área (A) y ángulo de la cúspide ( $\Theta$ ).



CAMPANA:

$\Theta = 60^\circ$ , en lo posible  
 Área de aspiración con  
 relación de lados 1:2

## 4.1.2 Listado de puntos de ventilación

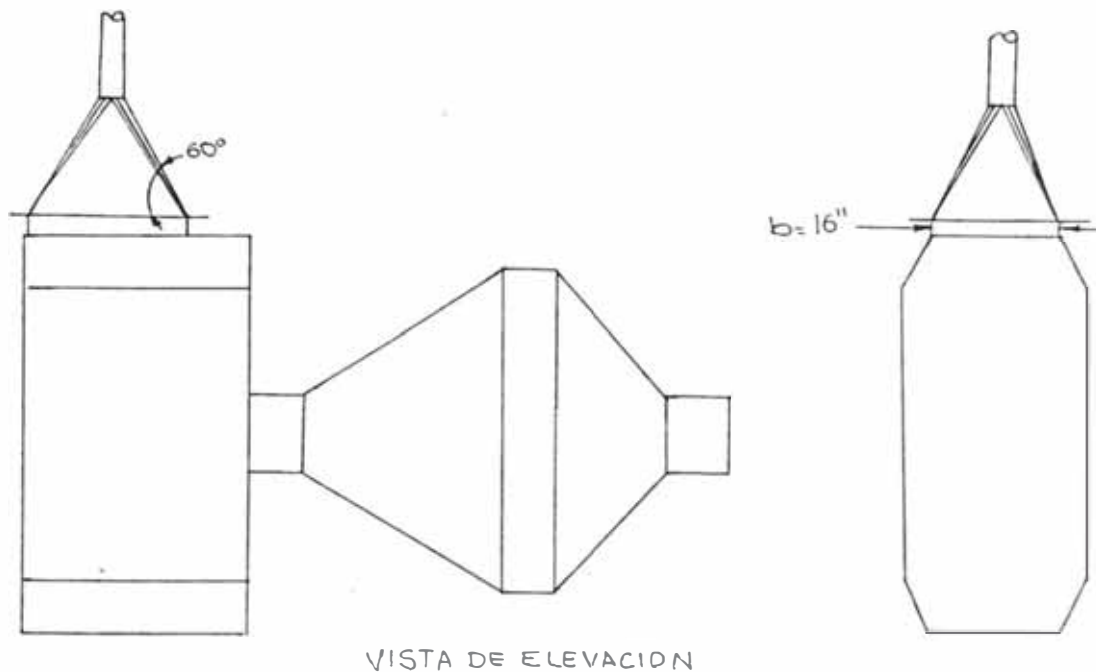
Nro.	PUNTOS DE VENTILACION	UBICACION DE LA CAMPANA
	Molino de bolas 2G1	La toma se instala en la parte superior de la caja que encierra a la malla ó trommel.
2	Molino de bolas 2G2	IDEM Nro. 1
3	Molino de bolas 2G3	IDEM Nro. 1
4	Gusano 8CE	Punto de transferencia en que el gusano descarga.
5	Gusano 1G1	Punto de transferencia en que el gusano descarga.
6	Gusano silo 4	Punto de transferencia en que descarga el gusano.
7	Gusano 6TS	IDEM Nro. 6
8	Gusano 3T1	En sus dos puntos de transferencia.
9	Gusano 3T2	IDEM Nro. 6
10	Gusano 3T3	Punto de transferencia en que se carga al gusano.
11	Tolva de finos	Punto de almacenamiento.
12	Gusano 2S2	Punto de transferencia en el que descarga.
13	Gusano 2S1	IDEM Nro. 12
14	Redler 4T1	Punto de transferencia en que descarga.
15	Redler 4T2	Punto de transferencia en que descarga.
16	Redler 5T1	Punto en el que se alimenta al redler.
17	redler 5T2	IDEM Nro. 16

### 4.1.3 Cálculo de puntos de ventilación

Esquema	1.- Molino de bolas 2G1, 2G2 y 2G3..	Pag.76
Esquema	2.- Gusano 8CE.....	Pag.78
Esquema	3.- Gusano 1G1.....	Pag.80
Esquema	4.- Gusano silo 4.....	Pag.82
Esquema	5.- Gusano 6TS.....	Pag.84
Esquema	6.- Gusanos 3T1 y 3T2.....	Pag.86
Esquema	7.- Gusano 3T3.....	Pag.88
Esquema	8.- Tolva finos 65.....	Pag.90
Esquema	9.- Gusano 2S1 y 2S2.....	Pag.92
Esquema	10.- Redler 4T1 y 4T2.....	Pag.94
Esquema	11.- Redler 5T1 y 5T2.....	Pag.96



**ESQUEMA 1.-** Molinos de bolas 2G1, 2G2 y 2G3.



**Datos:**

Boca de aspiración, sección rectangular

Lado menor disponible  $b = 16''$ .

$$\text{Relación de lados} = \frac{\text{Lado menor}}{\text{Lado mayor}} = \frac{1}{1,75}$$

$$\text{Angulo de la campana} = 60^\circ$$

$$\text{Distancia axial } l = 6''$$

$$\text{Velocidad de succión } V_1 = 200 \text{ f.p.m}$$

**Cálculo:**

De la cantidad de aire requerido  $Q = A \times V$ .

Cálculo del área de aspiración (A):

$$b = 16'' ; \quad \text{lado mayor: } a = 1,75 \times 16'' = 28''$$

$$a = 28''$$

$$\text{Luego : } A = \frac{28 \times 16}{144} = 3,11 \text{ pie}^2$$

Cálculo de la velocidad promedio en la sección de aspiración (V):

$$P = \frac{2 \times 28 + 2 \times 16}{12} = 7,33 \text{ pies}$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{3.11}{7.33} = 0,42 \text{ pies}$$

$$\frac{1}{R_h} = \frac{(6/12)}{0,42} = 1,19$$

De la relación de Pruzner, para sección rectangular y con

$$\frac{1}{R_h} \leq 2 \text{ se tiene que :}$$

$$\frac{V_1}{V - V_1} = 0.8 \left( \frac{1}{R_h} \right)^{-1,4} ;$$

Despejando y reemplazando se tiene que  $V = 519$   
f.p.m

$$\text{Luego } Q = A \times V = 1\ 614 \text{ CFM.}$$

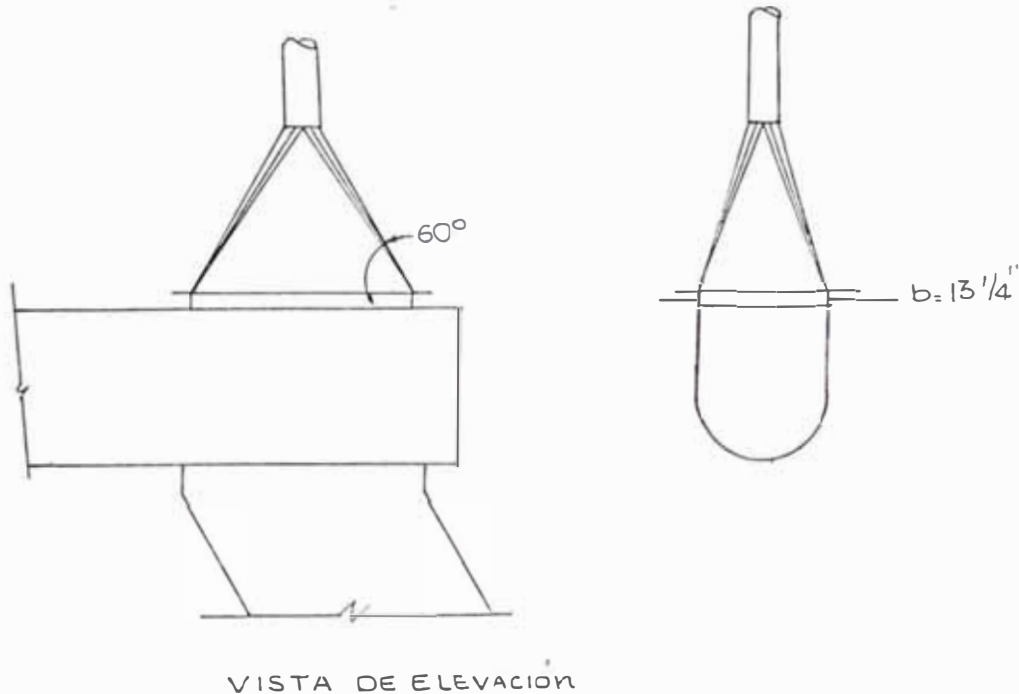
#### Resultados:

$$\text{Angulo de la campana} = 60^\circ$$

$$\text{Boca de aspiración} = 28'' \times 16''$$

$$\text{Aire requerido} = 1\ 614 \text{ CFM.}$$

## ESQUEMA 2.- Gusano BCE.

**Datos:**

Boca de aspiración, rectangular

Lado menor disponible  $b = 13 \frac{1}{4}''$

$$\text{Relación de lados} = \frac{\text{Lado menor}}{\text{Lado mayor}} = \frac{1}{1,8}$$

Angulo de la campana =  $60^\circ$

Distancia axial  $l = 3''$

Velocidad de succión  $V_1 = 150 \text{ f.p.m}$

**Cálculo:**

De la cantidad de aire requerido  $Q = A \times V$ .

Cálculo del area de aspiración (A):

$$b = 13.25'' ; \quad \text{lado mayor: } a = 1,8 \times 13.25 = 23.75''$$

$$a = 23.75''$$

$$\text{Luego : } A = \frac{23,75 \times 13,25}{144} = 2.2 \text{ pie}^2$$

Cálculo de la velocidad promedio en la sección de aspiración (V):

$$P = \frac{2 \times 23.75 + 2 \times 13.25}{12} = 6,17 \text{ pies}$$

$$R_b = \frac{A}{P} = \frac{2.2}{6.17} = 0,36 \text{ pies}$$

$$\frac{l}{R_b} = \frac{(3/12)}{0,36} = 0,69$$

De la relación de Pruzner, para sección rectangular y con:

$$\frac{l}{R_b} \leq 2 \text{ se tiene que :}$$

$$\frac{V_1}{V - V_1} = 0.8 \left( \frac{l}{R_b} \right)^{-1,4} ;$$

Despejando y reemplazando se tiene que  $V = 262$   
f.p.m

$$\text{Luego } Q = A \times V = 577 \text{ CFM.}$$

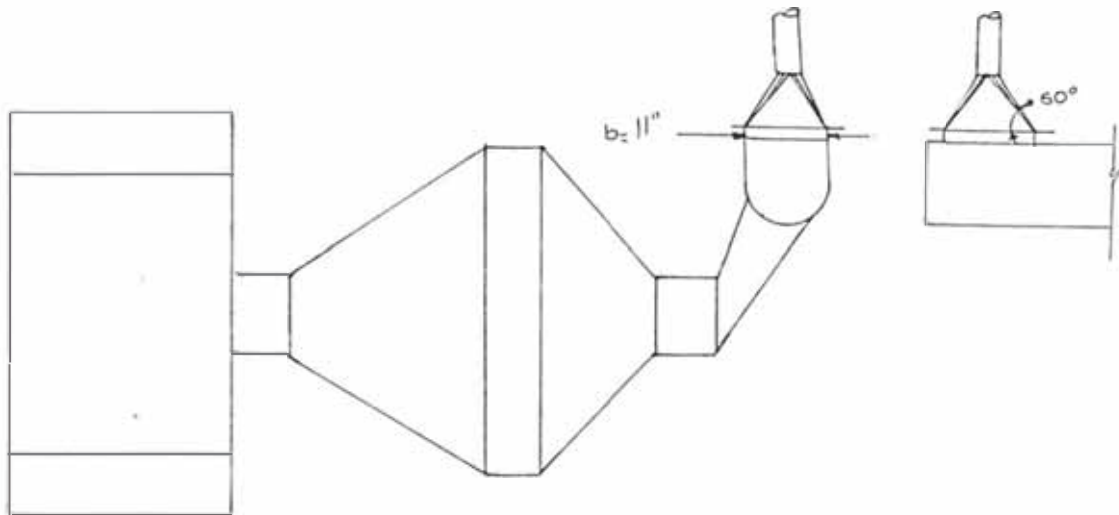
Resultados:

$$\text{Angulo de la campana} = 60^\circ$$

$$\text{Boca de aspiración} = 23 \frac{3}{4}'' \times 13 \frac{1}{4}''$$

$$\text{Aire requerido} = 577 \text{ CFM.}$$

## ESQUEMA 3.- Gusano 1G1.



VISTA DE ELEVACION

**Datos:**

Boca de aspiración rectangular.

Lado menor disponible  $b = 11''$

$$\text{Relación de lados} = \frac{\text{Lado menor}}{\text{Lado mayor}} = \frac{1}{1,25}$$

Angulo de la campana  $= 60^\circ$

Distancia axial  $l = 5''$

Velocidad de succión  $V_1 = 150 \text{ f.p.m}$

**Cálculo:**

De la cantidad de aire requerido  $Q = A \times V$ .

Cálculo del area de aspiración (A):

$$b = 11'' ; \quad \text{lado mayor: } a = 1,25 \times 11 = 13 \frac{3}{4}''$$

$$a = 13 \frac{3}{4}''$$

$$\text{Luego : } A = \frac{13,75 \times 11}{144} = 1.1 \text{ pie}^2$$

Cálculo de la velocidad promedio en la sección de aspiración (V):

$$P = \frac{2 \times 23.75 + 2 \times 11}{12} = 4,13 \text{ pies}$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{1.1}{0.27} = 1,54 \text{ pies}$$

$$\frac{l}{R_h} = \frac{(5/12)}{0,27} = 1,54$$

De las relaciones de Pruzner, para sección rectangular y con

$$\frac{l}{R_h} \leq 2 \text{ se tiene que :}$$

$$\frac{V_1}{V - V_1} = 0.8 \left( \frac{l}{R_h} \right)^{-1,4};$$

Despejando y reemplazando se tiene que  $V = 490$   
f.p.m

$$\text{Luego } Q = A \times V = 1.1 \times 490 = 540 \text{ CFM.}$$

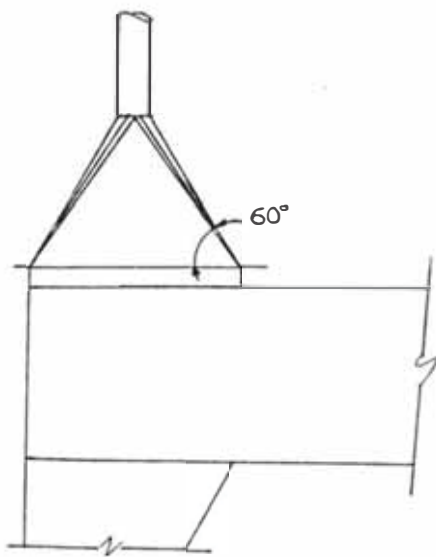
### Resultados:

Angulo de la campana =  $60^\circ$

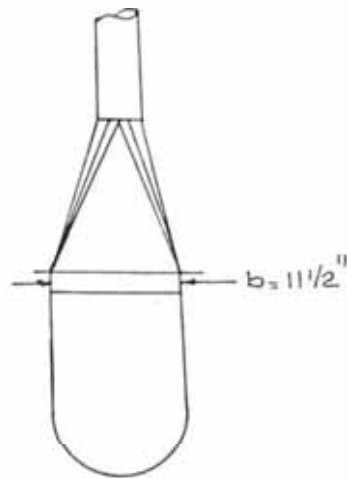
Boca de aspiración =  $13 \frac{3}{4}'' \times 11''$

Aire requerido = 540 CFM.

## ESQUEMA 4.- Gusano silo 4



VISTA DE ELEVACION



VISTA LATERAL

**Datos:**

Boca de aspiración rectangular

Lado menor disponible  $b = 11 \frac{1}{2}''$ 

$$\text{Relación de lados} = \frac{\text{Lado menor}}{\text{Lado mayor}} = \frac{1}{2}$$

Angulo de la campana =  $60^\circ$ Distancia axial  $l = 3''$ Velocidad de succión  $V_1 = 200 \text{ f.p.m}$ **Cálculo:**De la cantidad de aire requerido  $Q = A \times V$ .

Cálculo del area de aspiración (A):

 $b = 11 \frac{1}{2}''$  ; lado mayor:  $a = 2 \times 11.5''$  $a = 23''$ 

$$\text{Luego : } A = \frac{23 \times 115}{144} = 1.84 \text{ pie}^2$$

Cálculo de la velocidad promedio en la sección de aspiración (V):

$$P = \frac{2 \times 23 + 2 \times 11,5}{12} = 5,75 \text{ pies}$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{1,84}{5,75} = 0,78 \text{ pies}$$

$$\frac{l}{R_h} = \frac{(3/12)}{0,32} = 0,78$$

De las relaciones de Pruzner, para sección rectangular y con:

$$\frac{l}{R_h} \leq 2 \text{ se tiene que :}$$

$$\frac{V_1}{V - V_1} = 0,8 \left( \frac{l}{R_h} \right)^{-1,4} ;$$

Despejando y reemplazando se tiene que  $V = 377$   
f.p.m

$$\text{Luego } Q = A \times V = 1,84 \times 377 = 694 \text{ CFM}$$

$$Q = 694 \text{ CFM.}$$

#### Resultados:

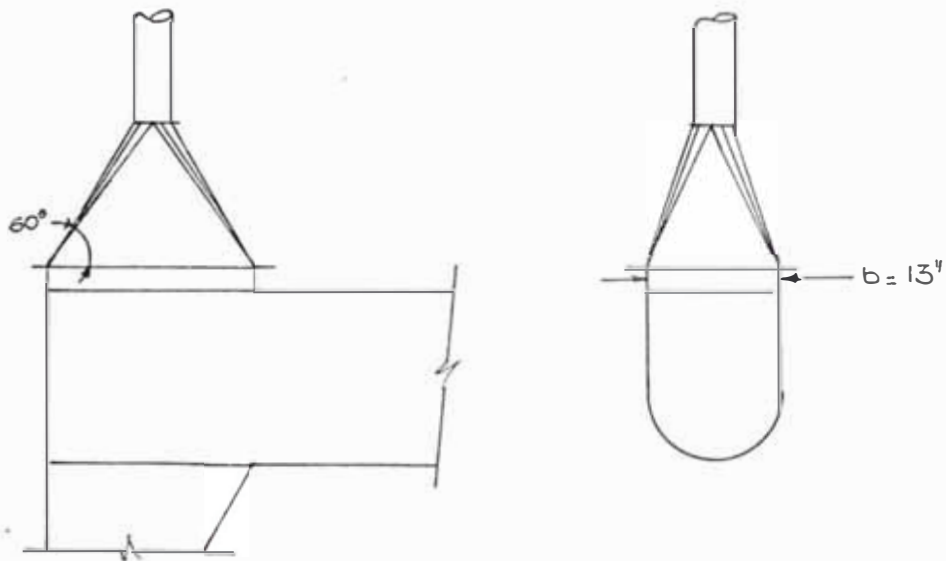
$$\text{Angulo de la campana} = 60^\circ$$

$$\text{Boca de aspiración} = 23'' \times 11 \frac{1}{2}''$$

$$\text{Aire requerido} = 694 \text{ CFM.}$$



## ESQUEMA 5.- Gusano 6TS.

**Datos:**

Boca de aspiración rectangular.

Lado menor disponible  $b = 13''$

$$\text{Relación de lados} = \frac{\text{Lado menor}}{\text{Lado mayor}} = \frac{1}{2}$$

$$\text{Angulo de la campana} = 60^\circ$$

$$\text{Distancia axial} \quad l = 3''$$

$$\text{Velocidad de succión} \quad V_1 = 200 \text{ f.p.m}$$

**Cálculo:**

De la cantidad de aire requerido  $Q = A \times V$ .

Cálculo del área de aspiración (A):

$$b = 13'' ; \text{ lado mayor} \quad a = 2 \times 13''$$

$$a = 26''$$

$$\text{Luego :} \quad A = \frac{26 \times 13}{144} = 2.35 \text{ pie}^2$$

Cálculo de la velocidad promedio en la sección de aspiración (V):

$$P = \frac{2 \times 26 + 2 \times 13}{12} = 6,5 \text{ pies}$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{2,35}{6,5} = 0,36 \text{ pies}$$

$$\frac{1}{R_h} = \frac{(3/12)}{0,36} = 0,69$$

De las relaciones de Pruzner, para sección rectangular y con:

$$\frac{1}{R_h} \leq 2 \text{ se tiene que :}$$

$$\frac{V_1}{V - V_1} = 0,8 \left( \frac{1}{R_h} \right)^{-1.4} ;$$

Despejando y reemplazando se tiene que  $V = 349$   
f.p.m

$$\text{Luego } Q = A \times V = 2,35 \times 349$$

$$Q = 821 \text{ CFM.35}$$

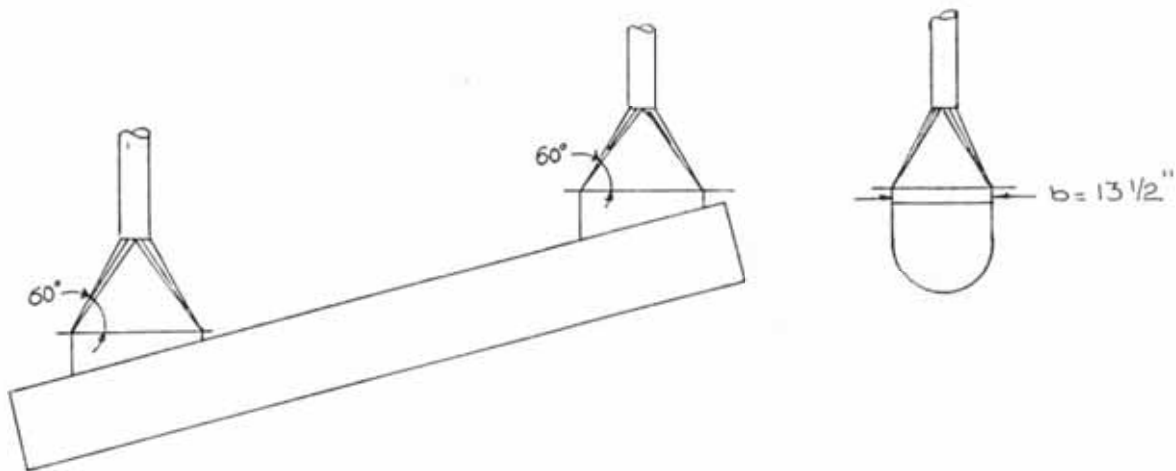
**Resultados:**

Angulo de la campana =  $60^\circ$

Boca de aspiración = 26" x 13"

Aire requerido = 821 CFM.

## ESQUEMA 6.- Gusano 3T1 y 3T2.

**Datos:**

Boca de aspiración rectangular

Lado menor disponible  $b = 13 \frac{1}{2}''$ 

$$\text{Relación de lados} = \frac{\text{Lado menor}}{\text{Lado mayor}} = \frac{1}{1.78}$$

$$\text{Angulo de la campana} = 60^\circ$$

$$\text{Distancia axial} \quad l = 3''$$

$$\text{Velocidad de succión} \quad V_1 = 150 \text{ f.p.m}$$

**Cálculo:**De la cantidad de aire requerido  $Q = A \times V$ .

Cálculo del área de aspiración (A):

$$b = 13 \frac{1}{2}''; \quad \text{lado mayor } a = 1.78 \times 13.5 = 24''$$

$$a = 24''$$

$$\text{Luego :} \quad A = \frac{24 \times 13.5}{144} = 2.25 \text{ pie}^2$$

Cálculo de la velocidad promedio en la sección de aspiración (V):

$$P = \frac{2 \times 24 + 2 \times 13.5}{12} = 6,25 \text{ pies}$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{2.25}{6.25} = 0,36 \text{ pies}$$

$$\frac{1}{R_h} = \frac{(3/12)}{0,36} = 0,694$$

De las relaciones de Pruzner, para sección rectangular y con

$$\frac{1}{R_h} \leq 2 \text{ se tiene que :}$$

$$\frac{V_1}{V - V_1} = 0.8 \left( \frac{1}{R_h} \right)^{-1,4} ;$$

Despejando y reemplazando se tiene que  $V = 262$   
f.p.m

$$\text{Luego } Q = A \times V = 2,25 \times 262 = 590 \text{ CFM}$$

$$Q = 590 \text{ CFM.}$$

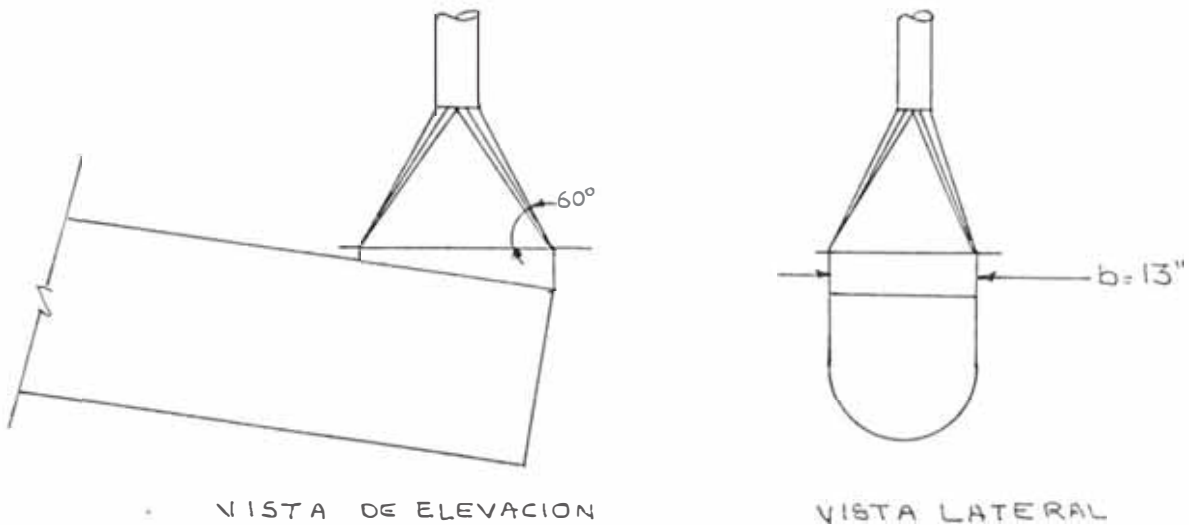
#### Resultados:

$$\text{Angulo de la campana} = 60^\circ$$

$$\text{Boca de aspiración} = 24'' \times 13 \frac{1}{2}''$$

$$\text{Aire requerido} = 590 \text{ CFM.}$$

## ESQUEMA 7.- Gusano 3T3.

**Datos:**

Boca de aspiración rectangular

Lado menor disponible  $b = 13''$ 

$$\text{Relación de lados} = \frac{\text{Lado menor}}{\text{Lado mayor}} = \frac{1}{1.5}$$

$$\text{Angulo de la campana} = 60^\circ$$

$$\text{Distancia axial } l = 4''$$

$$\text{Velocidad de succión } V_1 = 150 \text{ f.p.m}$$

**Cálculo:**De la cantidad de aire requerido  $Q = A \times V$ .

Cálculo del area de aspiración (A):

$$b = 13''; \text{ lado mayor } a = 1.5 \times 13'' = 19.5''$$

$$a = 19 \frac{1}{2}''$$

$$\text{Luego : } A = \frac{19.5 \times 13}{144} = 1.76 \text{ pie}^2$$

Cálculo de la velocidad promedio en la sección de aspiración (V):

$$P = \frac{2 \times 19.5 + 2 \times 13}{12} = 5,42 \text{ pies}$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{1.76}{5.42} = 0,32 \text{ pies}$$

$$\frac{l}{R_h} = \frac{(4/12)}{0,32} = 1,04$$

De las relaciones de Pruzner, para sección rectangular y con

$$\frac{l}{R_h} \leq 2 \text{ se tiene que :}$$

$$\frac{V_1}{V - V_1} = 0.8 \left( \frac{l}{R_h} \right)^{-1,4} ;$$

Despejando y reemplazando se tiene que  $V = 348$   
f.p.m

$$\text{Luego } Q = A \times V = 1,76 \times 348$$

$$Q = 613 \text{ CFM.}$$

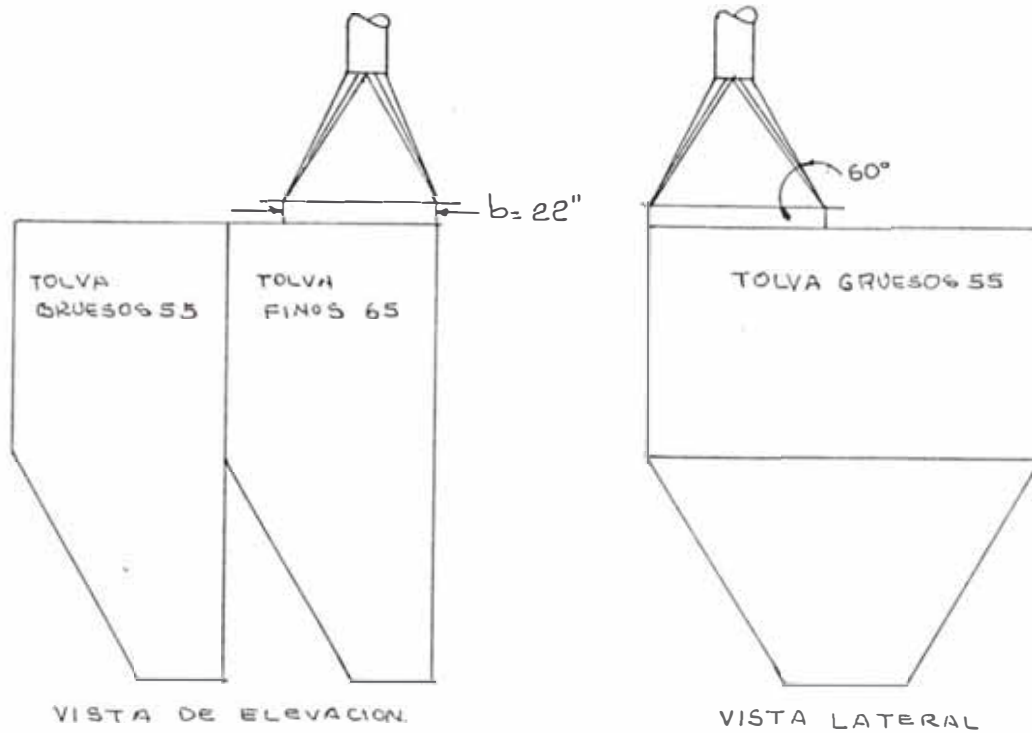
#### Resultados:

$$\text{Angulo de la campana} = 60^\circ$$

$$\text{Boca de aspiración} = 19 \frac{1}{2}'' \times 13''$$

$$\text{Aire requerido} = 613 \text{ CFM.}$$

## ESQUEMA 8.- Tolva de Finos 65.

**Datos:**

Boca de aspiración rectangular

Lado menor disponible  $b = 22''$

$$\text{Relación de lados} = \frac{\text{Lado menor}}{\text{Lado mayor}} = \frac{1}{1.18}$$

$$\text{Angulo de la campana} = 60^{\circ}$$

$$\text{Distancia axial } l = 5''$$

$$\text{Velocidad de succión } V_1 = 200 \text{ f.p.m}$$

**Cálculo:**

De la cantidad de aire requerido  $Q = A \times V$ .

Cálculo del area de aspiración (A):

$$b = 22''; \text{ lado mayor } a = 1.18 \times 22'' = 26''$$

$$a = 26''$$

$$\text{Luego : } A = \frac{26 \times 22}{144} = 4 \text{ pie}^2$$

Cálculo de la velocidad promedio en la sección de aspiración (V):

$$P = \frac{2 \times 26 + 2 \times 22}{12} = 8 \text{ pies}$$

$$R_b = \frac{A}{P} = \frac{4}{8} = 0,5 \text{ pies}$$

$$\frac{1}{R_b} = \frac{(5/12)}{0,5} = 0,42$$

De las relaciones de Pruzner, para sección rectangular y con:

$$\frac{1}{R_b} \leq 2 \text{ se tiene que :}$$

$$\frac{V_1}{V - V_1} = 0.8 \left( \frac{1}{R_b} \right)^{-1,4};$$

Despejando y reemplazando se tiene que  $V = 274$   
f.p.m

$$\text{Luego } Q = A \times V = 4 \times 274 = 1\ 096 \text{ CFM}$$

$$Q = 1\ 096 \text{ CFM.}$$

**Resultados:**

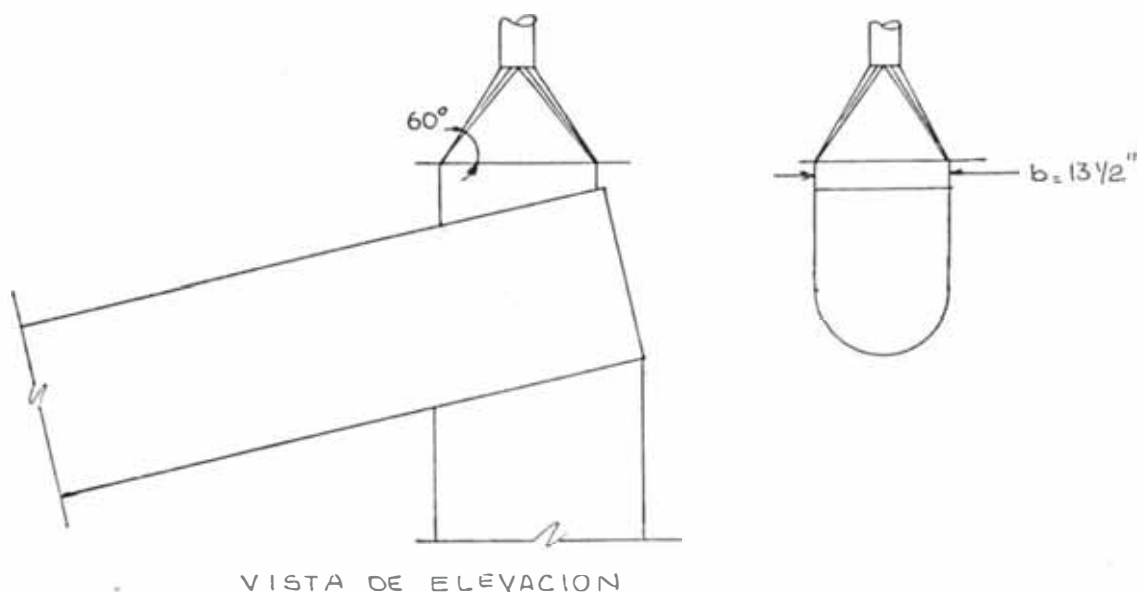
$$\text{Angulo de la campana} = 60^\circ$$

$$\text{Boca de aspiración} = 26'' \times 22''$$

$$\text{Aire requerido} = 1\ 096 \text{ CFM.}$$



## ESQUEMA 9.- Gusano 2S1 y 2S2

**Datos:**

Boca de aspiración rectangular

Lado menor disponible  $b = 13 \frac{1}{2}''$ 

$$\text{Relación de lados} = \frac{\text{Lado menor}}{\text{Lado mayor}} = \frac{1}{1,8}$$

$$\text{Angulo de la campana} = 60^\circ$$

$$\text{Distancia axial } l = 4''$$

$$\text{Velocidad de succión } V_1 = 200 \text{ f.p.m}$$

**Cálculo:**De la cantidad de aire requerido  $Q = A \times V$ .

Cálculo del área de aspiración (A):

$$b = 13 \frac{1}{2}; \text{ lado mayor } a = 1,8 \times 13,5''$$

$$a = 24''$$

$$\text{Luego : } A = \frac{24 \times 13,5}{144} = 2,25 \text{ pie}^2$$

Cálculo de la velocidad promedio en la sección de aspiración (V):

$$P = \frac{2 \times 24 + 2 \times 13,5}{12} = 6,3 \text{ pies}$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{2,25}{6,3} = 0,36 \text{ pies}$$

$$\frac{l}{R_h} = \frac{(4/12)}{0,36} = 0,93$$

De las relaciones de Pruzner, para sección rectangular y con:

$$\frac{l}{R_h} \leq 2 \text{ se tiene que :}$$

$$\frac{V_1}{V - V_1} = 0,8 \left( \frac{l}{R_h} \right)^{-1,4};$$

Despejando y reemplazando se tiene que  $V = 426$   
f.p.m

$$\text{Luego } Q = A \times V = 2,25 \times 426$$

$$Q = 959 \text{ CFM.}$$

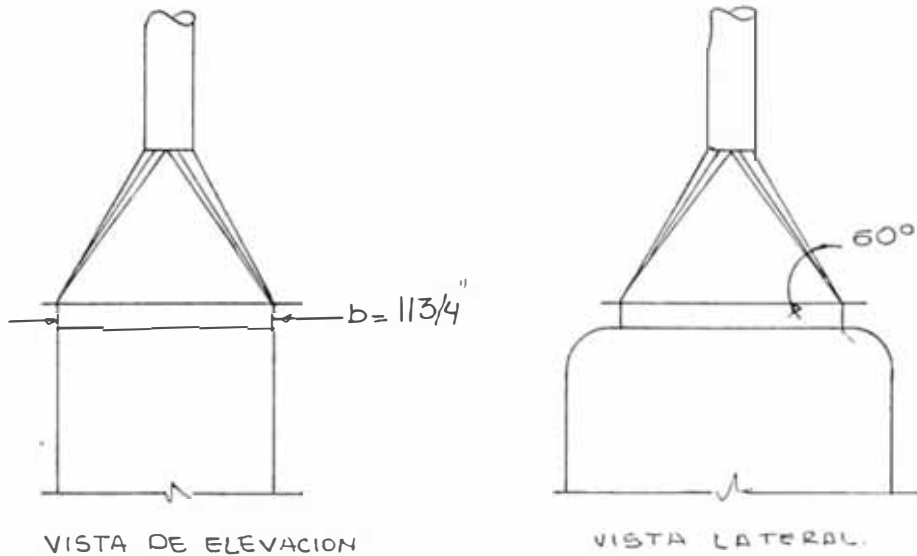
**Resultados:**

Angulo de la campana =  $60^\circ$

Boca de aspiración =  $24'' \times 13 \frac{1}{2}''$

Aire requerido = 959 CFM.

## ESQUEMA 10.- Redler 4T1 y 4T2

**Datos:**

Boca de aspiración rectangular

Lado menor disponible  $b = 11 \frac{3}{4}$ "

$$\text{Relación de lados} = \frac{\text{Lado menor}}{\text{Lado mayor}} = \frac{1}{2}$$

$$\text{Angulo de la campana} = 60^\circ$$

$$\text{Distancia axial } l = 5"$$

$$\text{Velocidad de succión } V_1 = 150 \text{ f.p.m}$$

**Cálculo:**

De la cantidad de aire requerido  $Q = A \times V$ .

Cálculo del area de aspiración (A):

$$b = 11 \frac{3}{4}; \text{ lado mayor } a = 2 \times 11,75" = 24"$$

$$a = 24"$$

$$\text{Luego : } A = \frac{24 \times 11,75}{144} = 1,96 \text{ pie}^2$$

Cálculo de la velocidad promedio en la sección de aspiración (V):

$$P = \frac{2 \times 24 + 2 \times 11,75}{12} = 5,9 \text{ pies}$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{1,96}{5,9} = 0,33 \text{ pies}$$

$$\frac{1}{R_h} = \frac{(5/12)}{0,33} = 1,26$$

De las relaciones de Pruzner, para sección rectangular y con

$$\frac{1}{R_h} \leq 2 \text{ se tiene que :}$$

$$\frac{V_1}{V - V_1} = 0,8 \left( \frac{1}{R_h} \right)^{-1,4} ;$$

Despejando y reemplazando se tiene que  $V = 409$   
f.p.m

$$\text{Luego } Q = A \times V = 1,96 \times 409$$

$$Q = 802 \text{ CFM.}$$

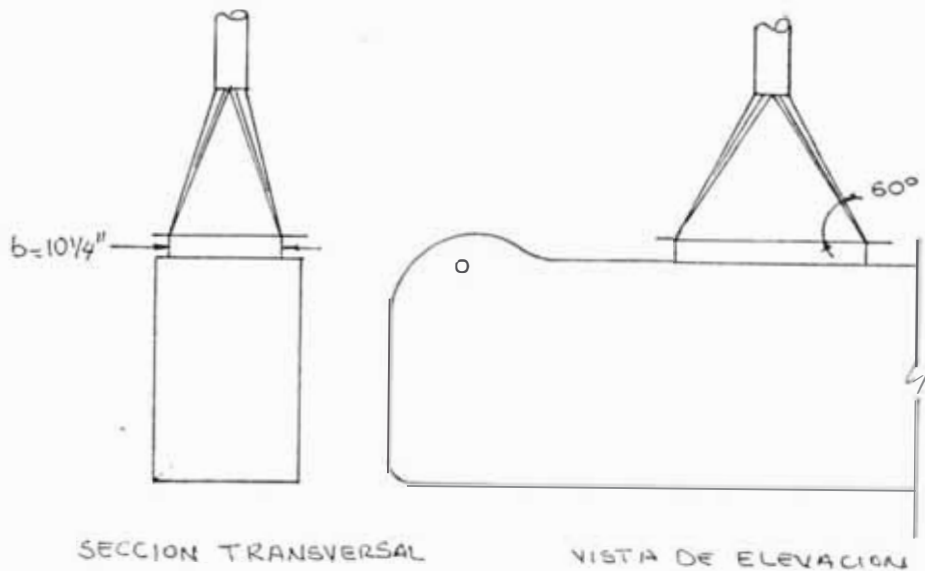
#### Resultados:

$$\text{Angulo de la campana} = 60^\circ$$

$$\text{Boca de aspiración} = 24'' \times 11 \frac{3}{4}''$$

$$\text{Aire requerido} = 802 \text{ CFM.}$$

## ESQUEMA 11.- Redler 5T1 y 5T2

**Datos:**

Boca de aspiración rectangular.

Lado menor disponible  $b = 10 \frac{1}{4}''$

$$\text{Relación de lados} = \frac{\text{Lado menor}}{\text{Lado mayor}} = \frac{1}{2.34}$$

$$\text{Angulo de la campana} = 60^\circ$$

$$\text{Distancia axial } l = 3''$$

$$\text{Velocidad de succión } V_1 = 200 \text{ f.p.m}$$

**Cálculo:**

De la cantidad de aire requerido  $Q = A \times V$ .

Cálculo del area de aspiración (A):

$$b = 10 \frac{1}{4}; \text{ lado mayor } a = 2.34 \times 10,25''$$

$$a = 24''$$

$$\text{Luego : } A = \frac{24 \times 10,25}{144} = 1,71 \text{ pie}^2$$

Cálculo de la velocidad promedio en la sección de aspiración (V):

$$P = \frac{2 \times 24 + 2 \times 10,25}{12} = 5,71 \text{ pies}$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{1,71}{5,71} = 0,3 \text{ pies}$$

$$\frac{l}{R_h} = \frac{(3/12)}{0,3} = 0,83$$

De las relaciones de Pruzner, para sección rectangular y con:

$$\frac{l}{R_h} \leq 2 \text{ se tiene que :}$$

$$\frac{V_1}{V - V_1} = 0,8 \left( \frac{l}{R_h} \right)^{-1,4} ;$$

Despejando y reemplazando se tiene que  $V = 394$   
f.p.m

$$\text{Luego } Q = A \times V = 1,71 \times 394$$

$$Q = 674 \text{ CFM.}$$

#### Resultados:

$$\text{Angulo de la campana} = 60^\circ$$

$$\text{Boca de aspiración} = 24'' \times 10 \frac{1}{4}''$$

$$\text{Aire requerido} = 674 \text{ CFM.}$$

## 4.2 DISEÑO DE LOS DUCTOS

### 4.2.1 Pérdidas en los ductos.

#### A. Generalidades:

Cuando el flujo circula a través de los ductos se encuentra con resistencia a su paso debido a: (1) las pérdidas por fricción y (2) pérdidas dinámicas (originadas por turbulencias). Las pérdidas por fricción se debe a la fricción entre el aire y la superficie del ducto. Las pérdidas dinámicas se deben a las turbulencias las cuales se originan cuando el flujo a través de los ductos cambian de dirección ó su velocidad; esto es, siempre que el ducto cambie de dirección ó de sección transversal. Como resultado de las pérdidas por fricción y dinámicas se presenta una caída de presión a medida que el flujo circula por el ducto.

La pérdida por fricción a través de cualquier ducto circular varia directamente con su longitud e inversamente con su diámetro y directamente con el cuadro de la velocidad del aire en el ducto. Las pérdidas dinámicas dependen de: (1) el número y el tipo de los codos y (2) la frecuencia con que la velocidad de aire en el ducto cambie de valor. (Por ejm. en expansiones, contracciones, entradas, etc.)

Para superar las resistencias en el ducto del sistema, es necesario, consumir energía para mantener una diferencia de presiones entre la

campana y el punto final del sistema. Esto es frecuentemente logrado con el uso de un ventilador. El ventilador suministra aire a una suficiente presión estática que supere las resistencias del sistema.

Para tener éxito en el diseño de los ductos del sistema de ventilación hay que evaluar correctamente las pérdidas de presión que en ellos se originan.

Una menor estimación de la caída de presión, reducirá el flujo de aire y posiblemente se tendrá un inadecuado control de la polución.

Una mayor estimación de la caída de presión incrementará el flujo y se tendrá una excesiva potencia, con un ventilador y motor sobredimensionados, incrementando así los costos del sistema.

Por lo tanto, una evaluación precisa de pérdidas de presión del sistema es un punto muy importante para obtener un flujo adecuado de aire que asegura el control de la contaminación y un bajo costo de construcción del sistema de ventilación.

#### **Materiales de construcción.**

El material más comunmente utilizado en la construcción de los ductos de sistema de ventilación, son las planchas de acero galvanizados, con espesores que van desde el



calibre 10 al 12.

Para servicio livianos los diámetros de los ductos, son  $\leq 100$  cm y para el transporte de partículas abrasivas ó servicio pesado el diámetro es  $\leq 50$  cm.

Se debe preveer el uso de empaquetaduras de asbesto u otro material para absorber las expansiones y contracciones de los ductos y hacer herméticas las juntas en la unión de tubos con bridas en sus trayectorias longitudinales especialmente.

#### **Características del flujo.**

Cuando el fluido fluye en un ducto a velocidades muy bajas, las partículas siguen una trayectoria lineal definida libre de torbellinos ó remolinos. Este flujo es conocido como flujo de laminar ó viscoso. A medida que se incrementa la velocidad, las características del flujo cambian, se forman torbellinos y la trayectoria lineal del fluido cambia a trayectorias sinusoidales con presencia de remolinos. A este tipo de fluido se le llama flujo turbulento.

Cada tipo de flujo posee sus propias leyes de resistencia al movimiento. Estas leyes son aplicables a todo fluido, incluyendo al agua, aire y aceite, considerando sus características propias de cada fluido.

**Velocidad crítica.**

El experimento de la banda de color que realizó Osborne Reynolds para poder visualizar las características del flujo laminar y turbulento, permitió determinar velocidades críticas en las que se presenta torbellino y una zona de transición, en la que el flujo pasa de laminar a turbulento.

La velocidad en que empieza a formar los torbellinos se le llama velocidad crítica alta, tal como fue determinado por el experimento de la banda de color. La velocidad crítica baja es aquella en la cual los torbellinos desaparecen cuando la velocidad del flujo turbulento se van reduciendo gradualmente.

Entre estos dos límites de velocidad se tiene una zona que se le denomina zona de transición.

La velocidad crítica baja es la más adecuada de entre los dos y usualmente se le considera como la verdadera velocidad crítica.

**Número de Reynolds (Re)**

Es una cantidad adimensional que nos permitirá distinguir entre un flujo laminar y turbulento.

Se ha determinado que se tiene flujo laminar con  $Re = 1\ 160$  o menos. El límite superior en la zona de transición esta alrededor del  $Re = 3\ 000$ . Arriba de  $Re = 3\ 000$ , el flujo es siempre turbulento. Debajo de  $Re = 1\ 160$  es siempre

laminar, y entre  $Re = 1\ 160$  y  $Re = 3\ 000$ , el flujo podrá ser laminar ó turbulento.

**En sistemas de ventilación el flujo es siempre turbulento**

El rango más frecuente de números de Reynolds en sistemas de ventilación es de  $100\ 000$  a  $1\ 000\ 000$ .

Un valor excepcionalmente bajo, podría ser  $Re = 30\ 000$  el cual se alcanza con ducto de 2" de diámetro y con velocidades de  $2\ 000$  f.p.m.

Es evidente que el flujo es totalmente turbulento en cualquier ducto del sistema de ventilación, la Tabla 3, muestra que un flujo laminar es imposible en sistemas de ventilación.

**TABLA 3.**

**Velocidades críticas para el aire ,  $Re = 3\ 000$**

Diámetro del ducto Pulg.	Velocidad crítica(*) f.p.m
3	120
6	60
12	30
24	15
36	10

(\*) Velocidad crítica, velocidad en que el flujo se convierte a turbulento. Como referencia debemos mencionar que los ductos en sistemas de ventilación para polvos minerales son diseñados con velocidades de  $3\ 500$  f.p.m ó superiores.

**Sólidos suspendidos.**

La presencia del polvo y cualquier otro sólido que sea transportado es ignorado en el desarrollo de las leyes de los fluidos.

Su presencia puede ser despreciada en un diseño práctico, siempre y cuando la relación sólido a aire sea baja.

Se considerará que el flujo es homogéneo, cuando en realidad el flujo del fluido es una mezcla de aire con partículas de polvo ó sólidos tales como granos, aserrín y productos químicos pesados.

En muchos casos de estos sistemas, los sólidos que fluyen con el fluido tienen una pequeña influencia en el cálculo de las pérdidas y potencia.

Sin embargo cuando la presencia de sólidos está en concentraciones pesadas, afectan los cálculos de pérdidas.

El peso y volumen de polvo por pie cúbico de aire es muy pequeño en los sistemas más comunes de ventilación. En la molienda en seco por ejemplo, es muy raro que se tenga menos de 10 000 pie<sup>3</sup> de aire utilizado para transportar 1 Lb de polvo metálico.

Por lo tanto el polvo, para considerar al flujo homogéneo y que los sólidos no afectan las pérdidas, no debe contener más que el 1/8 del 1% en peso de la mezcla.

**Aire standard.**

De acuerdo a las pruebas realizados por la Asociación Nacional de Fabricante de Ventiladores (Air Moving and Conditioning Association) y la Sociedad Americana de Ingenieros Especialistas en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) y para el desarrollo de este trabajo, consideraremos un aire standard con las siguientes características:

Densidad de 0,075 lb por pie cúbico, correspondiente a una presión barométrica de 29,92 pulg. de mercurio, una temperatura de bulbo seco de 70 °F y con una humedad relativa del 50 %.

**Compresibilidad del aire.**

El aire, por su puesto, es un fluido compresible. Sin embargo, para el estudio de las leyes del flujo se considera al aire como un fluido incompresible. El desarrollo de las leyes del fluido se simplifican sin perder su validez.

Al asumir la incompresibilidad del aire, genera errores despreciables en las expresiones para el cálculo de las pérdidas, potencia, cantidad de aire, y otros factores de diseño.

La presión en sistemas de ventilación en algunas ocasiones pueden superar las 6 pulg de agua sobre ó debajo de la presión atmosférica. La compresibilidad del aire debe considerarse a

presiones desde 408 pulg. de agua. El considerar al aire incompresible genera un error del orden de 1,5%.

### **B. Pérdidas en la Campana.**

La diferencia de presiones que se requiere para mover el aire al interior de la campana debe ser lo suficiente para: (1) acelerar el fluido desde el reposo hasta la velocidad de transporte requerida en el ducto y (2) para superar las pérdidas debida a las turbulencias en la campana.

Para acelerar el fluido, se requiere de una energía igual a la presión de velocidad en el ducto.

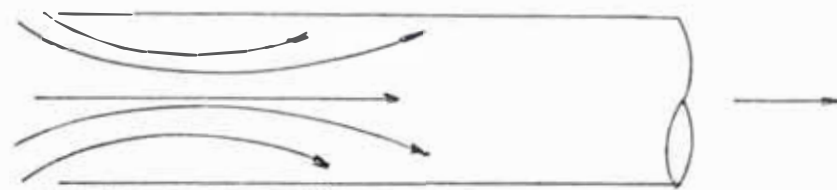
Las pérdidas por turbulencia son originadas por la abertura de la campana y varia con la forma de ella.

El coeficiente de entrada ( $C_e$ ) indica la magnitud de las pérdidas por turbulencia. En una campana teórica, sin pérdidas por turbulencia,  $C_e = 1$ .

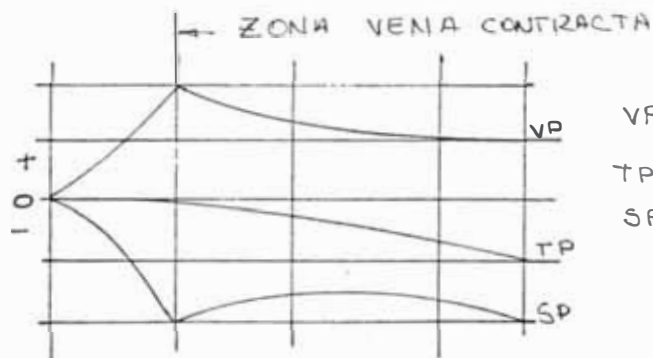
Presión estática en la campana ( $S_{Ph}$ ) se mide en pulgadas de agua y representa las pérdidas de presión para acelerar el fluido y de las turbulencias. Para una campana teórica sin pérdidas por turbulencia,  $C_e = 1$  y  $S_{Ph} = VP$ ;  $VP =$  Presión de velocidad en pulg. de agua.

## Coeficiente de entrada ( $C_e$ ) y Presión estática (SPh).

Esquema de un flujo de aire que ingresa por abertura.



TRANSFORMACION DE:  
 $\rightarrow$  SP en VP  
 $\leftarrow$  VP en SP



VP = presión de velocidad.  
 TP = presión total  
 SP = Presión estática.

Se tiene que el flujo converge al máximo a una pequeña distancia corrientes abajo en un plano donde la vena contracta posee un diámetro más pequeño que el diámetro del ducto.

La formación de la vena contracta se acompaña por una conversión de presión estática (SP) en presión de velocidad (VP) y viceversa.

Como resultado de la transformación de la presión estática en presión de velocidad. Se tiene una pérdida en presión estática del 2% y una pérdida

mayor , cuando se tiene una transformación de presión de velocidad en presión estática en la vena contracta y a medida que el flujo se expande hasta llenar el ducto.

El área del flujo de aire en la vena contracta varía con la forma de la campana y de la abertura. En muchas campanas el rango del área es del 70% al 100% del área del ducto.

La pérdida a causa de la conversión de presión resulta en una disminución de la cantidad de aire que fluye a través de la campana, el cuál es indicado por el coeficiente de entrada ( $C_e$ ).

El coeficiente de entrada ( $C_e$ ) se define como la cantidad verdadera de aire a una presión dada comparado con la cantidad de aire teórico.

Esto ocurre cuando la presión estática se puede convertir en presión de velocidad con un 100% de eficiencia. Es la relación de la cantidad de aire real a la cantidad de aire teórica.

La Figura 11. proporciona un resumen de valores aproximados para coeficientes de entrada ( $C_e$ ).

La cantidad de aire  $Q$  en CFM, (pie cúbico por minuto) puede escribirse de la siguiente manera:

$$\text{Sea: } Q = V \times A$$

$$VP' \text{ (en pie del fluido aire)} = \frac{V^2}{2g}$$



A = Sección transversal (pie cuadrado)

V = Velocidad del aire (pie/seg)

g = 32,2 pie/s<sup>2</sup>

VP' = Presión de velocidad en pie de aire

VP = Presión de velocidad en pulg. de agua.

$$VP \text{ (en pulg de Agua)} = \left( \frac{V}{60} \right)^2 \times \frac{0,075}{62,4} \times \frac{12}{2(32,2)}$$

$$VP = \left( \frac{V}{4\ 005} \right)^2$$

V = Velocidad del aire convertido en pies por minuto (f.p.m)

Para densidades ( ) diferentes 0,075 lb/pie<sup>3</sup>, se tiene:

$$VP = \left( \frac{V}{1\ 100} \right)^2 \times$$

V = f.p.m

= 62,4 lb/pie<sup>3</sup>

1 pie = 12 pulg.

V = 4 005 VP; en pie por minuto.

$$\text{Luego } \Rightarrow Q = 4\ 005 A \times \sqrt{VP} \dots (1)$$

También puede escribirse así:

En una compaña teórica, Sea : Ce = 1 ; VP = SP<sub>h</sub>

El aire teórico Q = 4 005 A  $\sqrt{SP_h}$

$$\text{Se sabe que: } C_e = \frac{\text{Aire real}}{\text{Aire teórico}} = \frac{Q}{4\,005 \text{ A } \sqrt{SP_b}}$$

$$\text{Luego : } Q = 4\,005 \text{ A } \times C_e \times \sqrt{SP_b} \dots (2)$$

Igualando (1) = (2)

$$4\,005 \text{ A } \sqrt{VP} = 4\,005 \text{ A } C_e \sqrt{SP_b}$$

$$C_e = \sqrt{\frac{VP}{SP_b}}$$

La pérdida en la entrada a la campana ( $h_e$ ) es otra forma muy conveniente de determinar el flujo de aire a través de la campana y está definido para representar la caída de presión originado por el flujo de aire hacia el ducto.

$$\begin{array}{rcc} SP_b & = & VP + h_e \\ \text{(En la campana)} & & \text{(En el ducto)} \quad \text{(Entrada de campana)} \end{array}$$

Se puede establecer una relación entre  $C_e$  y  $h_e$  de la siguiente manera:

$$C_e = \sqrt{\frac{VP}{SP_b}}$$

$$\text{Sustituyendo : } SP_b = VP + h_e$$

$$C_e = \sqrt{\frac{VP}{VP + h_e}}$$

Elevando al cuadrado se tiene:

$$C_e^2 = \frac{VP}{VP + h_e}$$

Despejando  $h_e$ .

$$h_e = \frac{VP}{C_e^2} - VP$$

Por lo tanto:

$$h_e = \left( \frac{1 - C_e^2}{C_e^2} \right) \times VP$$

**Coefficiente de entrada, ( $C_e$ ).**

Los estudios experimentales más exhaustivos sobre los coeficientes de entrada ( $C_e$ ), para campanas de diferente forma y dimensiones son los realizados por Brandt y Steffy

Estos resultados se pueden ver en la figura 11 y la Tabla 4.

Al examinar esta información se puede ver que un valor promedio de  $C_e = 0,9$  puede ser empleado para todo tipo de campana con un probable error de más o menos 0,05, esto es menor que un 10%. Esta es una suficiente aproximación para un diseño de este tipo de campana.

### C. Pérdidas entramos longitudinales.

Las pérdidas que se presentan en los tramos longitudinales son pérdidas por fricción. Se nuestros estudios de mecánica de fluidos aprendimos

TABLA 4: COEFICIENTES DE ENTRADAS,  $C_e$ .

(A) DONDE : $\frac{\text{AREA DE LA SUPERFICIE DE ASPIRACION}}{\text{AREA DEL DUCTO}} = 2 \text{ O MAS}$		
ANGULO DE LA CAMPANA *	COEFICIENTE DE ENTRADA, $C_e$	
	CAMPANAS CONICAS	CAMPANAS PIRAMIDALES
$10^{\circ} - 100^{\circ}$	0.95	0.90
$100^{\circ} - 140^{\circ}$	0.90	0.85
$100^{\circ}$	0.92	0.80

\* Angulo de la campana para campanas piramidales, referido a lado mas largo de la campana.

(B) DONDE :  $\frac{\text{AREA DE LA SUPERFICIE DE ASPIRACION}}{\text{AREA DEL DUCTO}} = 1.2 \text{ a } 2$

Campanas de corta altura ( Altura  $\leq 1/2$  diametro del cono, o menor lado en campana piramidal ),  $C_e = 0.95$

Campanas de mayor altura ( Altura  $> 1/2$  diametro del cono, o al lado menor en campana piramidal ),  $C_e = 0.85$

NOTA

Cuando :  $\frac{\text{AREA DE LA SUPERFICIE DE ASPIRACION}}{\text{AREA DEL DUCTO}} = 1.$

Se trata de un ducto, donde  $C_e = 0,70$

que las pérdidas por fricción entre el flujo de cualquier fluido y conducto se pueden evaluar mediante la aplicación de la ecuación de Fanning D'Arcy:

$$h'_l = f \left( \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \right) \quad (1)$$

Donde:

$h'_l$  = Pérdida por fricción, en pies del fluido que circula por el ducto.

$f$  = Coeficiente de fricción, adimensional que dependen del número de Reynolds (Re) y de la rugosidad relativa (K/D).

$L$  = Longitud del ducto, en pies

$D$  = Diámetro del ducto, en pies

$V$  = Velocidad del fluido, en pies/segundo

$g$  = Aceleración de la gravedad, 32,2 pie/seg<sup>2</sup>.

$$\text{Sabemos que } h' = \frac{V^2}{2g}, \dots (2)$$

En pie del fluido que circula por el ducto transformando a pulgadas de agua.

Podemos expresarlo en:

$$h_v = \left( \frac{V}{4005} \right)^2, \dots (3)$$

Donde  $V$  esta f.p.m

Reemplazando (3) en (1)

$$\text{Luego : } h_l = f \left( \frac{L}{D} \right) \times h_v \quad \dots\dots(4)$$

Donde:

$h_l$  = Pérdida por fricción, en pulgadas de agua

$f$  = Coeficiente de fricción.

$L$  = Longitud del ducto, en pies.

$D$  = Diámetro del ducto, en pies.

$h_v$  = Presión de velocidad en pulgadas de agua

#### Determinación del coeficiente de fricción (f).

Los valores del coeficiente de fricción, varían dentro de un rango considerable que dependen de la rugosidad de las paredes de la superficie del ducto y también del número de Reynolds.

El rango del coeficiente de fricción (f) que son aplicables para Sistemas de Ventilación Industrial varían desde 0,01 a 0,04. Referencia: Process and Plant Ventilation, por Hemeon.

En el caso más general, el coeficiente de fricción es función de:

$$\text{Re} = \frac{\rho \text{ VD}}{\nu} \quad \text{--->} \quad \text{Número de Reynolds}$$

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{K}{D}$$

$\rho$  = Densidad

$\nu$  = Viscosidad

$K$  = Rugosidad del ducto.

$D$  = Diámetro del ducto.

Es decir  $f = \text{función (Re, K/D)}$

Como sabemos; si Re es menor a 3 000 se tiene flujo laminar, por lo que (f) es solo función de Re, si Re es muy grande, mayor a 100 000 el flujo es declaradamente turbulento. f, no depende ya del Re si no solo de la rugosidad relativa (K/D).

Para una misma turbería como K/D es constante entonces f será también constante, La Tabla 5 resume todas las relaciones para poder evaluar el coeficiente de fricción (f) para regimen laminar y turbulento y para tubería lisa ó rugosa.

Como sabemos que en ductos de sistemas de ventilación el flujo es declaradamente turbulento ya que varía .  $Re = 100\ 000$  a  $1\ 000\ 000$  y que los tubos generalmente se construyen con planchas de acero A-36 ( $k = 0,0005$  pie), considerando como tubería rugosa.

Se tiene que la relación desarrollada por Karman-Prand es la que se ajusta a nuestro caso de sistemas de ventilación; y es:

$$\frac{1}{f} = 2 \log_{10} \frac{D}{2k} + 1,74$$

Está formula permite evaluar el valor del coeficiente de fricción (f) y se utilizará en el presente trabajo.

Los valores de rugosidad (k) para diferentes ductos se muestra en la Tabla 6.

**TABLA 5: FORMULAS PARA EVALUAR EL COEFICIENTE DE FRICCIÓN (f) PARA FLUJO TURBULENTO, LAMINAR Y TUBERIA LISA Y RUGOSA.**

TUBERIA	REGIMEN	FORMULA	AUTOR
LISAS Y RUGOSAS	LAMINAR	$f = \frac{64}{Re}$	Poiseulle.
LISAS	TURBULENTO (1) Re < 100,000	$f = \frac{0.316}{Re^{1/4}}$	BLASIUS
LISAS	TURBULENTO (1) Re > 100,000	$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \text{ Log } ( Re \sqrt{f} ) - 0.8$	KARMAN - PRANDTL (PRIMERA ECUACION)
RUGOSAS	TURBULENTO (ZONA DE TRANSICION)	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \text{ Log } \left[ \frac{K/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right]$	COLEBROOK
RUGOSAS	TURBULENTO (ZONA FINAL)	$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \text{ Log}_{10} \frac{D}{2K} + 1.74$	KARMAN - PRANDTL (SEGUNDA ECUACION)

(1) La corriente no pasa bruscamente de laminar a turbulenta. Hay una zona en el que el regimen puede ser mixto.

Referencia : Mecanica de fluidos y maquinas hidraulicas, pag. 216.



**TABLA 6: COEFICIENTES DE RUGOSIDAD ABSOLUTA, K. PARA TUBERIAS COMERCIALES**

TIPO DE TUBERIA	RUGOSIDAD ABSOLUTA K (mm)
VIDRIO, COBRE O LATON ESTIRADO	< 0.001 (0 LISA)
LATON INDUSTRIAL	0.025
ACERO LAMINADO NUEVO	0.05
ACERO LAMINADO OXIDADO	0.15 - 0.25
ACERO LAMINADO CON INCRUSTACIONES	1.5 - 3
ACERO ASFALTADO	0.015
ACERO ROBLONADO	0.03 - 0.1
ACERO SOLDADO, OXIDADO	0.4
HIERRO GALVANIZADO	0.15 - 0.20
FUNDICION CORRIENTE NUEVA	0.25
FUNDICION CORRIENTE OXIDADA	1 - 1.5
FUNDICION ASFALTADA	0.10
CEMENTO ALISADO	0.30 - 0.80
CEMENTO BRUTO	HASTA 3
ACERO ROBLONADO	0.90 - 9
DUELAS DE MADERA	0.183 - 0.91
APROXIMACION EN :	TUBERIAS LISAS $K \pm 0.05$ TUBERIAS RUGOSOS $K \pm 0.10$

#### D. Pérdidas en los codos.

Las pérdidas en los codos son pérdidas dinámicas. Las pérdidas dinámicas varían principalmente con el cuadrado de la velocidad, y se puede expresar corrientemente como una fracción de la presión de velocidad:

$$H_d = C \left( \frac{V^2}{4005} \right)$$

Donde:

$H_d$  = Pérdida de presión dinámica en pulg. de agua.

$V$  = Velocidad principal, en f.p.m

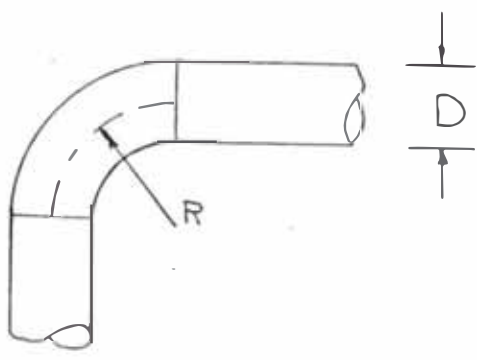
$C$  = Una constante determinada experimentalmente. Coeficiente adimensional, se le conoce como el coeficiente de pérdida dinámica.

Los coeficientes de pérdida dinámica ( $c$ ) son independientes de la velocidad del aire y afectados por la rugosidad de las paredes del ducto solo para el caso de codos.

Por lo cual las pérdidas dinámicas son frecuentemente agrupados con las pérdidas de fricción en los ductos para facilitar los cálculos en el diseño. Luego el método de longitud equivalente es el seguido en este trabajo.

Las longitudes equivalentes para ángulos diferentes a  $90^\circ$  varían directamente con el ángulo. Así para  $60^\circ$  se tiene un factor de 0,67 y para  $45^\circ$  se tiene un factor de 0,5 ver Tabla 7.

**TABLA 7: LONGITUD EQUIVALENTE DE CODOS EN PIES**



The diagram shows a 90-degree elbow of a pipe with diameter  $D$  and radius of curvature  $R$ . The elbow is shown in a perspective view, with the radius  $R$  indicated by a dashed line and an arrow. To the right, a cross-section of the pipe is shown with diameter  $D$  indicated by two horizontal arrows.

DIAMETRO EL DUCTO $D$	RADIO DE CURVATURA PARA CODO DE 90°		
	1,5 $D$	2,0 $D$	2,5 $D$
3"	5	3	3
4"	6	4	4
5"	9	6	5
6"	12	7	6
7"	13	9	7
8"	15	10	8
10"	20	14	11
12"	25	17	14
14"	30	21	17
16"	36	24	20
18"	41	28	23
20"	46	32	26
24"	57	40	32
30"	74	51	41
36"	93	64	52
40"	105	72	59
48"	130	89	73

\* Para:

Codo de 60° — 0,67 x Long. equivalente de codo de 90°

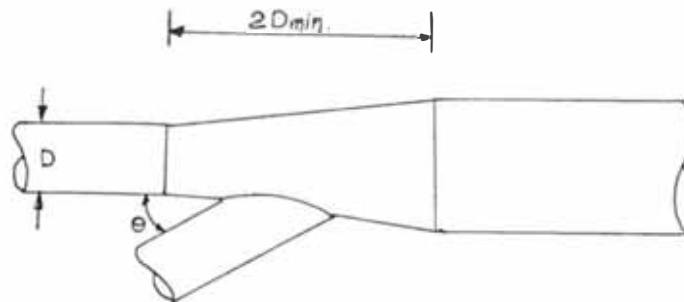
Codo de 45° — 0,5 x Long. equivalente de codo de 90°

Codo de 30° — 0,33 x Long. equivalente de codo de 90°

### E. Pérdidas en las entradas de los ramales.

Son pérdidas dinámicas que se evalúan y según datos obtenidos en el Industrial Ventilation se tiene:

TABLA 8. Longitud equivalente en pies, para pérdidas en las entradas en los ramales.



Diámetro Tubo Pulg.	Ángulo de entrada del Ramal	
	30	45
3"	2	3
4"	3	5
5"	4	6
6"	5	7
7"	6	9
8"	7	11
10"	9	14
12"	11	17
14"	13	21
16"	16	25
18"	18	28
20"	20	32

### F. Pérdidas en los cambios de sección.

Son pérdidas dinámicas. Los cambios en la sección de los ductos generalmente son inevitables porque son necesarios en la instalación de los ductos por ubicación de los elementos del edificio ó por cambios en el volumen de aire transportado.

Investigaciones experimentales en los cambios de

área de los ductos indican que el exceso de pérdida de presión sobre la pérdida normal de fricción está en la pérdida dinámica debido a una expansión abrupta del flujo hacia un flujo más lento, estas pérdidas son mayores que las de contracción del fluido.

Para evaluar estas pérdidas podemos utilizar, la Tabla 9.

#### G. Pérdidas en los equipos de colección de polvo.

Para calcular las pérdidas en los diferentes equipos de colección de polvos se ha utilizado los datos que se consideran en la Tabla 10.

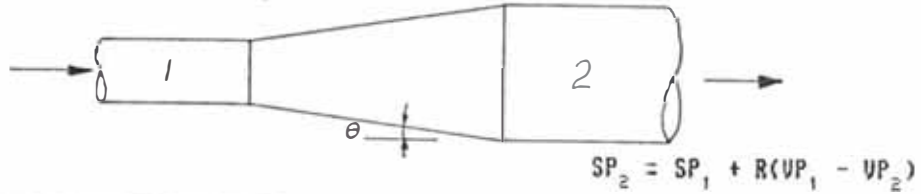
#### 4.2.2 Velocidad de transporte.

Es la velocidad de aire mínima en el ducto, requerida para movilizar las partículas con el flujo de aire.

El elemento más crítico en el diseño de un sistema de ventilación para polvos, es la velocidad de transporte (velocidad en el ducto). Cuando hay demasiados ductos, y si se mantienen altas velocidades para transportar las partículas de polvo sin interrupción se puede lograr una limpieza automática en el ducto, sólo por el uso de altas velocidades. Si la velocidad del aire es muy baja se produce sedimentación de las partículas en los tramos horizontales de los ductos.

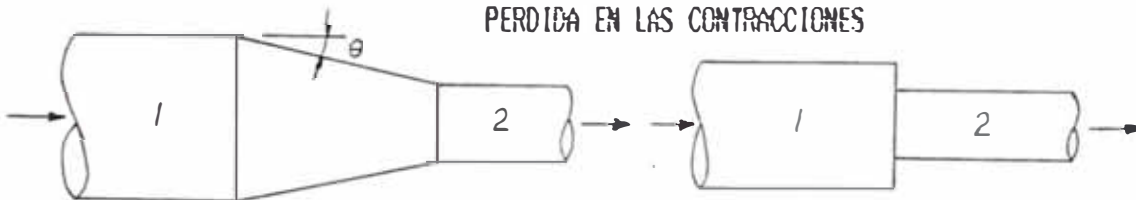
**TABLA 9: PERDIDAS EN EXPANSIONES O CONTRACCIONES.**

**PERDIDAS Y GANANCIAS EN EXPANSIONES**



ANGULO EN GRADOS	R(GANANCIA)FRACCION DE LA DIFERENCIA DE LA VP	L(PERDIDA) FRACCION DE LA DIFERENCIA DE LA VP
3 1/2	0.79	0.22
5	0.72	0.28
10	0.56	0.44
15	0.42	0.58
20	0.28	0.72
25	0.13	0.87
30	0.00	1.00
+ DE 30	0.00	1.00

**PERDIDA EN LAS CONTRACCIONES**



$$SP_2 = SP_1 - (VP_2 - VP_1) - L(VP_2 - VP_1)$$

CONTRACCION GRADUAL

ANGULO EN GRADOS	L (PERDIDA)
5	0.05
10	0.06
15	0.08
20	0.10
25	0.11
30	0.13
45	0.20
60	0.30
+ DE 60	Contraccion a brupta.

$$SP_2 = SP_1 - (VP_2 - VP_1) - K(VP_2)$$

CONTRACCION ABRUPTA

A2 / A1	K
0.1	0.48
0.2	0.46
0.3	0.42
0.4	0.37
0.5	0.32
0.6	0.26
0.7	0.20

NOTA: Para calcular la SP en una contraccion o expansion considerar: que

VP ES (+) ; SP es (+) En la descarga del ventilador  
SP es (-) al ingreso del ventilador.

Cuando esto ocurre, la sección por donde circula el flujo de aire se ve reducida y para un flujo de aire dado se incrementan las pérdidas de fricción. Esto genera una reducción del flujo de aire desde el ventilador, lo cuál produce una posterior reducción de la velocidad del aire en el ducto y a su vez sedimentando una mayor cantidad de polvo en los ductos. Esto genera un círculo vicioso.

Por lo que la velocidad del aire no debe ser menor a la velocidad de sedimentación del material, que según Hemeon son:

$$\text{Para ductos verticales: } V_v = 0,27 V_h d^{0,2}$$

$$\text{Para ductos horizontales: } V_h = 105 (S/(S + 1))d^{0,4}$$

Donde:

$V_v$  = Velocidad en ducto vertical, en f.p.m.

$V_h$  = Velocidad en ducto horizontal en f.p.m.

$S$  = Gravedad específica del polvo.

$d$  = Diámetro de la partícula en micrones.

Para polvo de calcina de zinc, de gravedad específica de 5,32, diámetro de la partida mayor 149 micrones, se tiene que las velocidades de sedimentación son:

En ductos verticales.

$$V_h = 105 \left( \frac{5,32}{5,32 + 1} \right) \times 149^{0,4} = 654 \text{ f.p.m}$$

En ductos horizontales.

$$V_v = 0,27 \times 656 \times 149^{0,2} = 480 \text{ f.p.m.}$$

Para el diseño del sistema de ventilación he considerado el valor de la velocidad de transporte de 4 500 FPM, por ser polvo metálico pesado y mayor que la velocidad de sedimentación de acuerdo a la Tabla 11.

#### 4.2.3 Cálculo de los ductos.

##### A. Definición.

Los cálculos que se describen son esenciales para determinar las dimensiones del ducto y la caída de presión del sistema. Estos resultados, más los volúmenes de aire, determinará el tamaño y el tipo del ventilador así como también la velocidad y potencia del motor.

##### Pasos preliminares.

Se debe disponer de la siguiente información:

1. Un esquema de la disposición de equipos existentes en la planta. Ver plano 2,3.
2. Un esquema de la configuración del sistema (trayectoria de ductos, ubicación de ventilador y colector). Ver planos 4.
3. Un esquema de la campana a utilizarse en cada punto de ventilación. Ver cálculo de puntos de ventilación.
4. Información de las operaciones de planta. Ver Tabla de Operaciones, Tabla 13 y 14.



**TABLA 11: RECOMENDACIONES DE VELOCIDADES  
MINIMAS DE TRANSPORTE**

NATURALEZA DEL CONTAMINANTE	EJEMPLOS	VELOCIDAD DE DISEÑO FPM
Vapores, gases humos	Tubos los gases y humos	Cualquier velocidad deseada, pero valores optimos son 1 000 - 1 200
Vapores o vahos	Vapores de oxido de zinc y aluminio	1 400 - 2 000
Polvos ligeros y muy finos	Pelusas de algodn, Aserrin o polvo de madera muy fino	2 000 - 2 500
Polvos ligeramente Pesados	Polvos finos de caucho, pelusa de yute Polvos de algodn, virutas livianas, virutas de cuero, polvos de jaboncillo, polvos generados en el molde de baquelita.	2 500 - 3 500
Polvos industriales de mediana densidad	Aserrin (hmedos y pesados), polvos del esmerilado, pelusas secas de las pulidoras, polvos de lana que se producen al sacudirla, granos de cafe, polvos de granito, polvos de silica, polvos del transporte o manipuleo de material en general, polvo generado en el quebrado de briquetas, polvos de arcilla, fundicion en general, polvos de piedra de cal, polvos de asbesto generados en su pesado y empaquetado, en la indust. textil.	3 500 - 4 000
Polvos pesados o hmedos	Polvo de plomo con pequenas virutas, polvos hmedos de cemento.	4 500 a mas

### Procedimiento

1. Determinar el tipo del sistema y seleccionar el método de cálculo a utilizar:
  - a. Sistema en que hay transporte de partículas, aquí debe mantener una velocidad mínima de transporte en el ducto, para prevenir sedimentación.
  - b. Sistemas en que no hay transporte de partículas. Las velocidades en los ductos no son elevados sino más bien bajas y esto permitirá una economía en la operación del sistema. En este tipo de sistema se transporta gases, vapor y humos.
  - c. Existe dos métodos de cálculo que se basan en:
    - (1) determinar longitudes equivalentes del ducto, (2) determinar las pérdidas en función de la presión de velocidad. Se pueden utilizar cualquiera de los dos métodos de cálculo.

El procedimiento que a continuación se describe es común para ambos métodos. Diseñar la campana y determinar el volumen de aire (CFM) requerido para la ventilación y la velocidad de transporte mínima. Conociendo el valor CFM, calcular el diámetro de los ductos de tal manera que se mantenga la mínima velocidad de transporte.

Normalmente el diámetro de los ductos se incrementan con un paso de 1/2" hasta diámetros de

5 1/2"; con 1" desde 6" a 20" de diámetro, con 2" desde 22" de diámetro a mayores. Ver Tabla 12.

#### B. Selección del método de cálculo.

1. El método de la presión de velocidad evalúa únicamente la pérdida a la entrada de la campana para evaluar la caída de presión. El método de las longitudes equivalentes, considera la succión en la campana (es decir: considera a la pérdida en la entrada más la presión de velocidad en la conexión de la campana con el ducto) como una caída de presión inicial en el sistema. Esto tienen ventajas que son:
  - a. Las velocidades en los ductos son más altas que las velocidades a la entrada de la campana. La consideración de alta presión de velocidad equilibra las pequeñas pérdidas por aceleraciones y desaceleraciones en el sistema, dando resultados conservadores.
  - b. Al iniciar los cálculos considerando la succión en la campana ( $h_e + VP$ ) las presiones del sistema pueden ser medidas inmediatamente y comparadas con los valores que el diseño indica.
2. Con una pequeña variación de las velocidades en el sistema, las pérdidas por aceleración y desaceleración tienden a ser despreciables y que no producen una variación en el volumen de aire.

TABLA 12: AREA Y DIAMETROS DE DUCTOS

DIAMETRO EN PULGADAS	AREA		DIAMETRO EN PULGADAS	AREA	
	Pulg <sup>2</sup>	Pie <sup>2</sup>		Pulg <sup>2</sup>	Pie <sup>2</sup>
1	,7854	,0054	30	706,8	4,909
1 1/2	1,767	,0123	31	754,7	5,241
2	3,14	,0218	32	804,2	5,585
2 1/2	4,910	,0341	33	855,3	5,940
3	7,07	,0491	34	907,9	6,305
3 1/2	9,620	,0668	35	962,1	6,611
4	12,57	,0873	36	1 017,3	7,069
4 1/2	15,90	,1105	37	1 075,2	7,467
5	19,63	,1364	38	1 134,1	7,876
5 1/2	23,76	,1650	39	1 194,5	8,296
6	28,27	,1964	40	1 256,6	8,727
6 1/2	33,18	,2305	41	1 320,2	9,168
7	38,48	,2673	42	1 385,4	9,621
7 1/2	44,18	,3068	43	1 452,2	10,08
8	50,27	,3491	44	1 520,5	10,56
8 1/2	56,75	,3940	45	1 590,4	11,04
9	63,62	,4418	46	1 661,9	11,54
9 1/2	70,88	,4923	47	1 734,9	12,05
10	78,54	,5454	48	1 809,5	12,57
11	95,03	,6000	49	1 885,7	13,10
12	113,1	,7854	50	1 963,5	13,64
13	132,7	,9218	51	2 042	14,19
14	153,9	1,069	52	2 124	14,75
15	176,7	1,227	53	2 206	15,32
16	201,0	1,396	54	2 290	15,90
17	226,9	1,576	56	2 463	17,10
18	254,4	1,767	58	2 642	18,35
19	283,5	1,969	60	2 827	19,63
20	314,1	2,182	62	3 019	20,97
21	346,3	2,405	64	3 217	22,34
22	380,1	2,640	66	3 421	23,76
23	415,4	2,885	68	3 632	25,22
24	452,3	3,142	70	3 848	26,73
25	490,8	3,409	72	4 072	28,27
26	530,9	3,687	74	4 301	29,87
27	572,5	3,976	76	4 536	31,50
28	615,7	4,276	78	4 778	33,18
29	660,5	4,587	80	5 027	34,91

Por las consideraciones expuestas se ha seleccionado:

**Método de cálculo de longitud equivalente.**

Todos los sistemas de aspiración sean simples o complejos tienen en común el uso de campanas, ductos y sistemas de conexión para llegar hasta el ventilador. En realidad un sistema complejo no es nada más que varias sistemas simples unidos a un ducto común.

Para diseñar las sistemas de ventilación por aspiración localizadas se debe iniciar por el lugar de la campana y continuar hasta llegar al ventilador y luego a la atmósfera.

El método a seguir es:

1. Diseñar la campana de aspiración que mejor controle la fuente de contaminación.
2. Determinar el volumen de aire requerido y la velocidad mínima de transporte. Con esta información determinar el diámetro adecuado del ducto. que asegura velocidades mayores ó iguales a la velocidad mínima de transporte en el ducto.
3. Determinar las longitudes verdaderas de los ductos, así como las longitudes equivalentes de codos y conexiones.

La longitud verdadera de los ductos se determina considerando al ducto como una línea sin considerar la curvatura de los codos.

La longitud equivalente de codos y conexiones deberán agregar a la longitud verdadera, para determinar la caída de presión.

4. Se utiliza una hoja de cálculo, para desarrollar todos los cálculos. Ver hoja de cálculo.

### **C. Distribución del flujo de aire.**

Como se mencionó anteriormente, un sistema complejo de ventilación es un grupo de sistemas; simples conectados a un ducto principal. Por esta razón, al diseñar un sistema de ventilación con múltiples campanas y ductos, se siguen las mismas reglas que para sistemas que poseen un solo ducto y su respectiva campana.

En sistemas complejos, que poseen una red de ductos unidos al ducto principal es necesario proveer una forma para la distribución del flujo de aire en los diferentes ductos mediante el uso de compuertas o balanceando el sistema. La razón de esto, es que los flujos de aire tomarán la trayectoria con menor resistencia.

Para proveer una distribución del fluido aire que corresponde a los volúmenes de aire requerido en las campanas de aspiración, se debe asegurar que cada intersección cuente con una posición estática igual.

Para lograr la distribución del aire se debe escoger uno de los dos métodos que nos permitirá.

Obtener la cantidad de flujo de aire deseado en cada campana de aspiración. Al mismo tiempo se mantiene la velocidad mínima de transporte en cada ducto del sistema.

Los métodos A y B se describen como sigue:

**Método A.** (Balanceo del flujo de aire sin usar compuertas).

Proporciona un procedimiento para lograr el flujo de aire deseado sin el uso de trampas o compuertas. A este método se le conoce como "Método de balanceo por presión estática".

En este tipo de diseño, los cálculos se inician en los ductos de mayor resistencia (lugares alejados del ventilador) y se va avanzando, hasta llegar al ventilador. En cada intersección de corrientes de aire. La presión estática necesaria para lograr el flujo deseado debe alcanzar igual resistencia de presión estática (si esta condición no se alcanza, no podrá lograrse los flujos de aire deseados en cada ducto). El balanceo del sistema se logra en el adecuado dimensionamiento de los ductos.

**Método B.** (Balanceo del flujo de aire con el uso de compuertas)

Depende del uso de compuertas las cuales pueden ser reguladas luego de su instalación para poder lograr los flujos de aire deseados en cada campana. Los

cálculos de este diseño también se inician en el lugar de mayor resistencia y la caída de presión es calculada en cada ducto hasta llegar al ventilador. La intersección de los ductos son dimensionados para mantener la velocidad mínima de transporte a una cantidad de aire deseada CFM. Se debe tener cuidado en elegir la zona de mayor resistencia; si la selección es incorrecta, cualquier ducto que posea mayor resistencia al que se eligió cambia la distribución del flujo de aire a pesar que los compuertas están regulados para el flujo deseado.

#### **Selección del método de balanceo.**

El método A, normalmente será seleccionado cuando los materiales tienen alta toxicidad.

Este método es obligatorio cuando los polvos son explosivos, radioactivos y contienen magnesio y para evitar acumulaciones posibles en los ductos originados por la obstrucción que produce las compuertas.

Como se sabe que la calcina de zinc tiene un grado de toxicidad por su contenido de plomo y zinc y es inconveniente para el proceso de mantenimiento, ha primado el escoger el método A y que será utilizado en el diseño.

#### **Procedimiento para el balanceo del método A.**

La resistencia en cada ducto es calculada, de



acuerdo a la información que se tiene para el diseño. En cada intersección la presión estática de las dos trayectorias deben ser las mismos.

Cuando la diferencia de la presión estática,

$$\left( \frac{\text{SP mayor} - \text{SP menor}}{\text{SP mayor}} \right) \times 100 > 20 \%$$

el ducto de menor presión deberá ser rediseñado para incrementar su caída de presión. La forma usual es disminuir el diámetro del ducto para incrementar la velocidad en el ducto.

Cuando la diferencia de presión estática es 5% a 20%, el balanceo se logra mediante el incremento del flujo de aire, a través del ducto que tiene la menor resistencia.

Este incremento en el flujo de aire es calculado para incrementar la caída de presión, de la siguiente manera:

$$\text{CFM}_{\text{ corregido}} = \text{CFM}_{\text{ diseño}} \times \frac{\text{Presión estática del ducto de mayor presión}}{\text{Presión estática del ducto de menor presión}}$$

Cuando la diferencia de presión estática es  $\leq 5\%$  es usual ignorar el pequeño error y considerar que el sistema está balanceado.

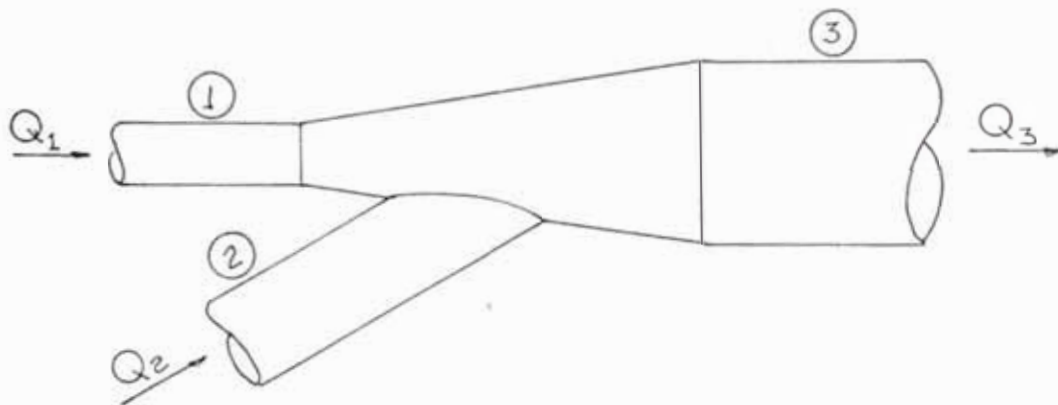
**Correcciones por cambio de velocidad.**

En los ductos existen dos lugares en que se debe realizar las correcciones por medio de velocidad, estos lugares son: en las entradas y expansiones ó contracciones.

**En las entradas:**

Una diferencia de 0,10" de agua ó mayor, entre la presión de velocidad ( $VP_3$ ) en el ducto principal y la presión de velocidad resultante de la combinación de los flujos de aire ( $VP_{1,2}$ ), obliga a realizar la corrección.

La corrección se hace de la siguiente manera:



$$SP_{\text{ic}} = SP_3 + (VP_{1,2} - VP_3) ;$$

$SP_{\text{ic}}$  = Presión estática corregida en el ducto 3.

$SP_3$  = Presión estática sin corregir en el ducto 3

$VP_{1,2}$  = Presión de velocidad de la combinación de los dos flujos de aire.

$$VP_{1,2} = \frac{(Q_1 + Q_2)^2}{(4005 (A_1 + A_2))^2}$$

$Q_1$  = CFM en el ducto 1

$Q_2$  = CFM en el ducto 2

$A_1$  = Pies<sup>2</sup> en el ducto 1

$A_2$  = Pies<sup>2</sup> en el ducto 2

**En las expansiones ó contracciones.**

Para realizar las correcciones de los cambios de velocidad en las expansiones ó contracciones se utilizan la tabla 9.

**D. Resumen de consideraciones para el desarrollo del cálculo.**

Se diseñará un sistema con transporte de partículas de polvo con una velocidad mínima de transporte de 4 500 F.P.M. para evitar la sedimentación.

El método de cálculo a utilizarse será el método de la longitud equivalente, por ser un método que proporciona resultados conservadores y porque se obtienen volúmenes de aire uniformes.

La distribución del flujo de aire se realizará según el Método A de balanceo por presión estática (sin uso de compuertas) para evitar acumulaciones posibles en los ductos originados por la obstrucción que produce las compuertas y porque la calcina de zinc es un polvo tóxico.

Los esquemas de la disposición de equipos existentes en la planta, la configuración del sistema se presentan en la sección referentes a los planos.

Los esquemas de las campanas se presentan en el capítulo referente al diseño de la campana.

Los datos de operación de la planta, así como las dimensiones del sistema, se presenta a continuación, Tablas 13 y 14; que resumen toda la información requerida para desarrollar los cálculos.

Todos los cálculos de los ductos han sido desarrollados en la hoja de cálculo y haciendo el uso correspondiente de las tablas que se presentan en este trabajo.

TABLA 13 DATOS DE OPERACION

Nro.	DESCRIPCION DEL EQUIPO	CAMPANA Nro.	ESQUEMA Nro.	CANT. DE AIRE DISEÑO C F M
1	GUSANO 8CE	1	ESQ - 2	640
2	MOLINO 2G3	2	ESQ - 1	1 700
3	MOLINO 2G2	3	ESQ - 1	1 700
4	MOLINO 2G1	4	ESQ - 1	1 700
5	GUSANO 1G1	5	ESQ - 3	600
6	GUSANO SILO 4	6	ESQ - 4	770
7	GUSANO 6TS	7	ESQ - 5	900
8	GUSANO 3T1	8	ESQ - 6	650
		8a	ESQ - 6	650
9	GUSANO 3T2	9	ESQ - 6	650
		9a	ESQ - 6	650
10	GUSANO 3T3	10	ESQ - 7	670
11	TOLVA FINO 65	11	ESQ - 8	1 200
12	GUSANO 2S2	12	ESQ - 9	1 070
13	GUSANO 2S1	13	ESQ - 9	1 070
14	REDLER 5T1	14	ESQ - 11	740
15	REDLER 5T2	15	ESQ - 11	740
16	REDLER 4T1	16	ESQ - 10	880
17	REDLER 4T2	17	ESQ - 10	880

TABLA 14: DIMENSIONES DEL SISTEMA DE VENTILACION

DESIGNACION DEL DUCTO	CFM DE DISEÑO	LONGITUD DE TRAMO RECTO O LONGITUD REAL EN PIES.	NUMERO DE CODOS	NUMERO DE ENTRADAS
1 - A	640	12.5	1 - 90°	—
2 - A	1 780	10.5	1 - 90°	1 - 30°
A - B	2 420	7.0	—	1 - 30°
3 - B	1 780	9.5	1 - 60°	—
B - C	4 200	11.0	1 - 90°	1 - 30°
4 - C	1 780	13.0	1 - 90°	—
C - D	5 980	12.0	1 - 90°	1 - 30°
5 - D	600	11.5	1 - 30°	—
D - M	6 580	10.5	2 - 19°	1 - 30°
8 - K	650	5.5	—	1 - 30°
9 - K	650	6.0	1 - 30°	—
K - L	1 300	13.5	1 - 90°, 1 - 45°	1 - 15°
10 - L	670	15.0	1 - 90°, 1 - 45°, 1 - 15°	—
L - M	1 970	7.0	1 - 60°	—
M - N	8 550	9.5	2 - 15°	1 - 30°
6 - F	770	10.0	—	1 - 30°
7 - F	900	11.7	1 - 30°	—
F - G	1 670	10.8	—	1 - 30°
11 - G	1 200	13.5	1 - 60°	—
G - H	2 870	17.5	1 - 90°, 1 - 60°	1 - 30°
8a - I	650	10.5	—	1 - 30°
9a - I	650	11.0	1 - 60°	—
I - H	1 300	7.5	1 - 60°	—
12 - J	1 070	12.5	1 - 90°	1 - 30°
13 - J	1 070	6.0	1 - 60°	—
J - Z	2 140	5.5	1 - 60°	—
H - Z	4 170	6.0	—	1 - 30°
Z - M	6 310	8.0	1 - 30°	—
M - O	14 860	17.0	2 - 90°, 1 - 30°	—
15 - P	740	8.5	—	1 - 30°
14 - P	740	9.0	1 - 30°	—
P - Q	1 480	21.0	1 - 90°, 1 - 30°	1 - 30°
17 - Q'	880	11.0	1 - 90°	—
16 - Q'	880	4.5	—	1 - 30°
Q' - Q'	1 760	8.0	1 - 90°, 1 - 60°	—
Q - R	3 240	25.0	1 - 30°, 1 - 60°	—
PLENUM	18 100	—	—	—
COLECTOR DE POLVO	18 100	—	—	—
U - V	18 100	22.0	1 - 90°, 1 - 60°	—
VENTILADOR	18 100	—	—	—
DESCARGA	18 100	17.0	—	—

## E. Proceso de cálculo de los ductos

### 1. Cálculo de la densidad del aire.

De la carta psicrométrica Fig. 12 ingresando con una temperatura de bulbo seco de 50 °F y una humedad relativa de 50 %, se tiene que el volúmen específico de aire a 29,92" de mercurio (Hg) es de 12,9 pie<sup>3</sup> lb.

De la ley de gases se tiene que  $P \times V = \text{cte.}$

Las condiciones de presión atmosférica en la planta, según reportes meteorológicos es de 19,21" de Hg.

Por lo tanto:  $P_1 V_1 = P_2 V_2$

Donde:

De la carta psicrométrico:  $P_2 = 29,92''$  de Hg

$V_2 = 12,9$  Pie<sup>3</sup>/lb

Del reporte metereológico :  $P_1 = 19,21''$  de Hg

Entonces:

$$V_1 = \frac{P_2 V_2}{P_1} = \frac{(29,92)(12,9)}{19,21} = 20 \text{ pie}^3/\text{lb}$$

Luego la densidad del aire es igual a la inversa del volumen específico  $V_1$  y es:

$$\rho_1 = \frac{1}{V_1} = \frac{1}{20} = 0,05 \text{ lb/pie}^3$$

También podemos hacer uso de la Tabla 15 en la que la variación de la densidad y otras propiedades del aire atmosférico en función de la altitud.

Por lo que en la planta a 3 800 m.s.n.m ó 12 500 pies s.n.m. de la tabla 13, se tiene que la densidad del aire es de 0,0522 lb/pie<sup>3</sup>.

Para efectos de cálculo consideraremos a la densidad del aire igual a 0,0522 lb/pie<sup>3</sup>.

## 2. Cálculo de la densidad de la mezcla ( $\rho_m$ ).

Sabemos que el flujo que circula por el ducto de ventilación posee partículas sólidas en suspensión por lo que evaluaremos una densidad de mezcla.

Por lo tanto:

$$\rho_m = \rho_{\text{aire}} \times X_{\text{aire}} + \rho_{\text{calcina}} \times X_{\text{calcina}}$$

Donde:

$$\begin{aligned} \rho_m &= \text{Densidad de mezcla, lb/pie}^3 \\ \rho_{\text{aire}} &= 0,0522 \text{ lb/pie}^3 \\ \rho_{\text{calcina}} &= 130 \text{ lb/pie}^3 \end{aligned}$$

Concentración máxima de la calcina = 1 p.p.m

(p.p.m = parte por millón)

$$\rho_m = \left( 0,0522 \times \frac{999\ 999}{1\ 000\ 000} \right) + \left( 130 \times \frac{1}{1\ 000\ 000} \right)$$

$$\rho_m = 0,0522 + 0,00013$$

$$\rho_m = 0,0523 \text{ lb/pie}^3$$

Valor que reemplazará a la densidad del aire. Y será utilizada en los cálculos.



TABLA 15: CONDICIONES ATMOSFERICAS-VS-ALTITUD

Z	t	b		$\times 10^5$	$\times 10^4$	c
ft	°F	"Hg	lb / ft <sup>3</sup>	lbm / ft-sec	ft <sup>2</sup> / sec	ft / sec
- 1 000	62,6	31,02	0,0787	1,212	1,539	1 120,7
- 500	60,8	30,47	0,0776	1,208	1,557	1 118,8
0	59,0	29,92	0,0754	1,205	1,576	1 116,9
500	57,2	29,38	0,0754	1,202	1,595	1 115,0
1 000	55,4	28,86	0,0743	1,198	1,614	1 113,1
1 500	53,7	28,33	0,0732	1,195	1,633	1 111,1
2 000	51,9	27,82	0,0721	1,192	1,653	1 109,2
2 500	50,1	27,32	0,0710	1,189	1,673	1 107,3
3 000	48,3	26,82	0,0700	1,185	1,694	1 105,3
3 500	46,5	26,33	0,0689	1,182	1,714	1 103,4
4 000	44,7	25,84	0,0679	1,179	1,735	1 101,4
4 500	43,0	25,37	0,0669	1,175	1,757	1 099,5
5 000	41,2	24,90	0,0659	1,172	1,778	1 097,5
5 500	39,4	24,43	0,0649	1,169	1,800	1 095,6
6 000	37,6	23,98	0,0639	1,165	1,823	1 093,6
6 500	35,8	23,53	0,0630	1,162	1,846	1 091,7
7 000	34,0	23,09	0,0620	1,158	1,869	1 089,7
7 500	32,3	22,65	0,0610	1,155	1,892	1 087,7
8 000	30,5	22,22	0,0601	1,152	1,916	1 085,7
8 500	28,7	21,80	0,0592	1,148	1,940	1 083,8
9 000	26,9	21,39	0,0583	1,145	1,965	1 081,8
9 500	25,1	20,98	0,0574	1,142	1,990	1 079,8
10 000	23,3	20,58	0,0565	1,138	2,015	1 077,8
11 000	19,8	19,79	0,0547	1,131	2,067	1 073,8
12 000	16,2	19,03	0,0530	1,125	2,121	1 069,8
13 000	12,6	18,29	0,0513	1,118	2,177	1 065,8
14 000	9,1	17,58	0,0497	1,111	2,234	1 061,8
15 000	5,5	16,89	0,0481	1,104	2,294	1 057,7

REFERENCIA: TABLES AND DATA FOR ALTITUDES TO 65 000 Feet, NACA REPORT 1235

WASHINGTON, D.C. 1 955, pp. 66-81.

### 3. Ecuaciones para evaluar las caídas de presión

#### 3.1 Coeficiente de fricción (f)

Sabemos que el flujo siempre será declaradamente turbulento ( $Re > 100\ 000$ ). Y que por tanto el coeficiente de fricción es solo función de la rugosidad del ducto. Por lo que consideraremos al ducto rugoso.

Por lo que la ecuación para determinar el coeficiente de fricción para estas condiciones, según Karman - Prandtl, es:

$$f = \frac{1}{(2 \log (D/24K) + 1,74)^2}$$

Donde:

D = Diámetro del ducto en pulgadas.

K = Rugosidad del ducto en pies.

Para evaluar la rugosidad con el tiempo, puede utilizarse la fórmula de Colebrook.

$$K = K_0 + \alpha t$$

Donde  $K_0$  = rugosidad del material nuevo

$\alpha$  = constante

t = tiempo

La variación de la rugosidad con el tiempo es un valor que debe determinarse experimentalmente.

Por lo que nuestro diseño evalúa las pérdidas considerando una rugosidad de material nuevo, con un valor de 0,0005 pies.

### 3.2 Caída de presión en el ducto.

Para evaluar la caída de presión en los ductos se expresa la ecuación de D'arcy, en pulgadas de agua:

$$SP_f = f \frac{12 L}{D} VP$$

Donde:

f = Coeficiente de fricción.

L = Longitud del ducto en pies.

D = Diámetro del ducto, en pulgadas.

VP = Presión de velocidad, en pulgadas de agua

$$VP = \left( \frac{V}{1100} \right)^2$$

Donde:

V = Velocidad, FPM

= Densidad del aire = 0,0523 lb/pie<sup>3</sup>

### 3.3 Caída de presión en la campana

$$SP_c = h_e + VP$$

Donde :

$h_e$  : Caída de presión al ingreso de la campana,  
en pulg. de agua.

$$h_e = F \times VP$$

F = Factor de entrada a la campana.

$$F = \frac{(1 - Ce^2)}{Ce^2}$$

Ce = Coeficiente de entrada.

VP = Presión de velocidad, en pulg. de agua energía necesaria para acelerar el fluido hasta obtener la velocidad deseada en el ducto.

Designación del ducto : 1 - A

Datos:

De las dimensiones del sistema.

Volúmen de aire = 640 CFM.

Longitud del ducto :

Tramo recto = 12,5 pies

Número de codos = 1 - 90° (un codo de 90°)

Cálculos:

a. Determinación del diámetro del ducto.

Sabemos:  $Q = V \times A$  ..... (1)

V = 4 500 FPM, veloc. min. de transporte.

Reemplazando en 1 se tiene:

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{640}{4\,500} = 0,1422 \text{ pie}^2$$

De la Tabla 12, seleccionamos:

$$A = 0,1364 \text{ pie}^2 \leq 0,1422 \text{ pie}^2 \rightarrow 5''$$

Verificación de la velocidad:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{640}{0,1364} = 4692 \text{ FPM} > 4500 \text{ FPM}$$

Por lo que el diámetro es 5'' .

b. Determinación de la longitud equivalente de codos y entradas.

Considerando:

$$\text{Radio de curvatura } R = 2D$$

$$\text{Diámetro del ducto } D = 5''$$

De la tabla 7, hallar longitud equivalente

$$\text{Para codo, } 1 - 90^\circ = 6 \text{ pies.}$$

c. Determinación de la longitud total del ducto.

$$\text{Longitud tramo recto} = 12,5 \text{ pies}$$

$$\text{Longitud equivalente codo} = 6 \text{ pies}$$

$$\text{Longitud total} = 12,5 + 6 = 18,5 \text{ pies.}$$

d. Determinación de la caída de presión en el ducto.

$$SP_d = f \frac{12 L}{D} \times VP \quad \dots\dots (2)$$

Donde:

$$f = \frac{1}{(2 \log(D/24k) + 1,74)^2}$$

$$f = \frac{1}{(2 \log(5/24 \times 0,0005) + 1,74)^2}$$

$$f = 0,0205$$

$$VP = \left( \frac{V}{1\ 100} \right)^2 \times = \left( \frac{4\ 692}{1\ 100} \right)^2 \times 0,0523$$

$$VP = 0,9516 \text{ pulg de Agua}$$

Reemplazando en 2:

$$f = 0,0205$$

$$L = 18,5 \text{ pie}$$

$$D = 5''$$

$$VP = 0,9516 \text{ pulg de agua.}$$

De donde:

$$SP_f = 0,0205 \times \frac{12 \times 18,5}{5} \times 0,9516$$

$$SP_f = 0,866 \text{ pulg de agua.}$$

e. Determinación de la caída de presión en la campana

$$SP_c = h_e + VP$$

$$h_e = F \times VP$$

$$F = \frac{1 - C_e^2}{C_e^2}$$

Para campana con ángulo de  $60^\circ$  se tiene que el coeficiente de entrada,  $C_e = 0,9$

Luego:

$$F = \frac{1 - (0,9)^2}{(0,9)^2} = 0,23$$

$$h_e = 0,23(0,9516) = 0,2189 \text{ pulg de Agua.}$$

$$SP_c = 0,2189 + 0,9516 = 1,171 \text{ pulg de Agua}$$

$$SP_c = 1,171 \text{ Pulg. de Agua.}$$

f. Caída de presión en la campana más el ducto.

$$SP = SP_c + SP_d$$

$$SP = 1,171 + 0,866 = 2,037 \text{ pulg. de Agua}$$

$$SP = 2,037 \text{ pulg. de Agua.}$$

### Resultados:

Diámetro = 5"

Velocidad = 4692 FPM.

Volumen de aire = 640 CFM

Longitud total del ducto = 18,5 pies

Caída de presión en el ducto ( $SP_d$ ) = 0,866" de agua

Caída de presión campana ( $SP_c$ ) = 1,171" de agua.

Designación del ducto: 2-A

### Datos:

De las dimensiones del sistema

Volumen de aire = 1780 CFM

Longitud del ducto:

Tramo recto = 10,5 pies

Número de codo = 1 - 90° ( 1 codo de 90° )

Número de entr. = 1 - 30° (1 entr. de 30° )

**Cálculos:**

a. Determinación del diámetro del ducto.

Sabemos

$$Q = V \times A \quad \dots(1)$$

$$V = 4500 \text{ FPM, Veloc. min. de transporte}$$

Reemplazando en (1) se tiene:

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{1780}{4500} = 0,3956 \text{ pie}^2$$

De la Tabla 12, seleccionamos:

$$A = 0,3940 \text{ pie}^2 < 0,3956 \text{ pie}^2 \quad \text{-->} \quad 8 \frac{1}{2}''$$

Verificación de la velocidad

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{1780}{0,394} = 4518 \text{ FPM}$$

$$v = 4518 \text{ FPM} > 4500 \text{ FPM}$$

Por lo que el diámetro es 8 1/2".

b. Determinación de la longitud equivalente de codos y entradas.

Considerando:

$$\text{Radio de curvatura } R = 2D$$

$$\text{Diámetro del ducto } D = 8 \frac{1}{2}''$$

De la tabla 7, hallar longitud equivalente.

$$\text{Para codo } 1 - 90^\circ = 11 \text{ pies}$$

$$\text{Para entrada } 1 - 30^\circ = 7,5 \text{ pies}$$



c. Determinación de la longitud total del ducto.

Longitud tramo recto = 10,5 pies

Longitud equivalente codo = 11 pies

Longitud equivalente entrada = 7,5 pies

Longitud total = 10,5 + 11 + 7,5 = 29 pies

d. Determinación de la caída de presión en el ducto.

$$SP_1 = f \times \frac{12 L}{D} \times VP \quad \dots\dots(2)$$

Donde :

$$f = \frac{1}{(2 \log(D/24k) + 1,74)^2}$$

$$f = \frac{1}{(2 \log(8,5/24 \times 0,0005) + 1,74)^2}$$

$$f = 0,0181$$

$$VP = \left( \frac{V}{1100} \right)^2 = \left( \frac{4518}{1100} \right)^2 \times 0,0523$$

$$VP = 0,8823 \text{ pulg. Agua}$$

Reemplazando en 2:

$$f = 0,0181$$

$$L = 29 \text{ pies}$$

$$D = 8 \frac{1}{2}''$$

$$VP = 0,8823 \text{ pulg de Agua.}$$

De donde:

$$SP_d = 0,0181 \times \frac{12 \times 29}{8,5} \times 0,8823$$

$$SP_d = 0,654 \text{ pulg de Agua.}$$

e. Determinación de la caída de presión en la campana

$$SP_c = h_e + VP$$

$$h_e = F \times VP$$

$$F = \frac{1 - C_e^2}{C_e^2}$$

Para campana con ángulo de  $60^\circ$  se tiene que el coeficiente de entrada  $C_e = 0,9$

Luego:

$$F = \frac{1 - 0,9^2}{0,9^2} = 0,23$$

$$h_e = 0,23 ( 0,8823 ) = 0,203'' \text{ de agua.}$$

$$SP_c = 0,203 + 0,8823 = 1,085'' \text{ de agua.}$$

f. Caída de presión en la campana más el ducto

$$SP = SP_c + SP_d$$

$$SP = 0,203 + 0,8823 = 1,085'' \text{ de Agua.}$$

$$SP = 1,085'' \text{ de Agua}$$

**Resultados:**

Diámetro = 8 1/2"

Velocidad = 4518 FPM

Volumen de aire = 1780 CFM

Longitud total del ducto = 29 pies

Caida de Presión en ducto ( $SP_d$ ) = 0,654" de agua

Caida de Presión campana ( $SP_c$ ) = 1,085" de agua

Caida de presión campana y ducto = 1,739 de agua

**Balanceo del sistema en A. Intersecciones 1-A y 2-A.**

Para realizar el balanceo se sigue los siguientes pasos:

a. Determinar la caída de presión que gobierne el balanceo. De los dos, se toma el mayor.

b. Evaluar el porcentaje de variación que es:

$$\% \text{ Variación} = \frac{\text{Mayor pres. estática} - \text{Menor pres. estática}}{\text{Mayor presión estática}} \times 100$$

c. El balanceo consiste en:

Si: % Variación > 20%. Reducir diámetro en el de menor presión estática.

Si: % Variación < 20%. Incrementar el volumen de aire en el de menor presión estática.

Si, % Variación < 5%. Se considera balanceado.

Así en el punto de intersección A, se tiene:

**Datos:**

Caída de presión 1-A = 2,037" de Agua

Caída de presión 2-A = 1,739" de Agua

**Cálculos:**

Considerando a la mayor presión estática igual a 2,037" de agua, presión que gobernará el balanceo, evaluaremos el:

$$\% \text{ Variación} = \frac{2,037 - 1,739}{2,037} \times 100 = 14,63$$

Por lo que el % Variación = 14,63 % < 20%. Por este resultado el balanceo se logra incrementando el volumen de aire en el ducto de menor presión (ducto 2-A).

Por lo tanto :

$$CFM_{\text{corregido}} = CFM_{\text{calculado}} \sqrt{\frac{SP_{1-A}}{SP_{2-A}}}$$

$$CFM_{\text{corregido}} = 1780 \sqrt{\frac{2,037}{1,739}}$$

$$CFM_{\text{corregido}} = 1927 \text{ CFM}$$

Efectuando las correcciones en el ducto 2-A, con el volumen de aire corregido, se tiene:

156

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1927}{0,394} = 4891 \text{ FPM}$$

$$VP = \left( \frac{4891}{1100} \right)^2 \times 0,0523 = 1,034'' \text{ de agua}$$

$$SP_d = 0,0181 \times \frac{12 \times 29}{8,5} \times 1,034 = 0,766 \text{ de agua}$$

$$h_e = F \times VP = 0,23 \times 1,034 = 0,238'' \text{ de agua}$$

$$SP_c = h_e + VP = 0,238 + 1,034 = 1,272'' \text{ de agua}$$

$$SP = SP_d + SP_c = 0,766 + 1,272 = 2,038'' \text{ de agua}$$

Nueva verificación del % variación que en este caso es:

$$\% \text{ Variación} = \frac{2,038 - 2,037}{2,038} \times 100 = 0,05 \%$$

Ahora el % Variación = 0,05 % < 5 % . Por lo que se alcanzó el balanceo con una presión estática igual a 2,038'' de agua.

En caso de no alcanzar el balanceo, se debe continuar según lo que indique el nuevo porcentaje de variación.

#### Resultados:

Caida de presión de balanceo en A = 2,038'' de Agua

**Correcciones en 2-A.**

Volumen de aire corregido = 1 927 CFM.

Velocidad = 4 891 FPM

Caida de presión ducto = 0,766" de agua

Caida de presión campana = 1,272" de agua

Caida de presión campana y ducto = 2,038" de agua.

**Designación del ducto A-B.****Datos:**

De las dimensiones del sistema.

Volumen de aire = 2567 CFM

Long. del ducto tramo recto = 7 pies.

Número de entrada = 1 - 30° (1 entrada de 30°)

**Cálculos:**

a. Determinación del diámetro del ducto.

Sabemos:  $Q = V \times A \dots(1)$

$V = 4500$  FPM, velocidad mínima de transporte.

Reemplazando en (1) se tiene:

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{2567}{4500} = 0,5704 \text{ pie}^2$$

De la Tabla 12, seleccionamos:

$$A = 0,5454 \text{ pie}^2 < 0,5704 \text{ pie}^2 \text{ ---> } 10''$$

Verificación de la velocidad:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{2567}{0,5454} = 4707 \text{ FPM} > 4500 \text{ FPM}$$

Por lo que el diámetro es 10"

b. Determinación de la longitud equivalente de codos y entradas.

Considerando:

Radio de curvatura  $R = 2D$

Diámetro del ducto  $D = 10''$

De las tabla 7, hallar la longitud equivalente

Para entrada  $1 - 30^\circ = 9 \text{ pies}$

c. Determinación de la longitud total del ducto.

Longitud tramo recto = 7 pies

Longitud equivalente entrada 9 pies

Long. total =  $7 + 9 = 16 \text{ pies}$

d. Determinación de la caída de presión en el ducto.

$$SP_1 = f \times \frac{12 L}{D} \times VP \dots (2)$$

Donde :

$$f = \frac{1}{(2 \text{ long } (D / 24 K) + 1,74)^2}$$

$$f = \frac{1}{(2 \text{ long } (10 / 24 \times 0,0005) + 1,74)^2}$$

$$f = 0,0174$$

$$VP = \left( \frac{V}{100} \right)^2 = \left( \frac{4707}{100} \right)^2 \times 0,0523$$

$$VP = 0,9576'' \text{ de agua}$$

Reemplazando en (2):

$$f = 0,0174$$

$$L = 16 \text{ pie}$$

$$D = 10''$$

$$VP = 0,9576 \text{ pulg de agua.}$$

De donde:

$$SP_d = 0,0174 \times \frac{12 \times 16}{10} \times 0,9576$$

$$SP_d = 0,32'' \text{ de Agua.}$$

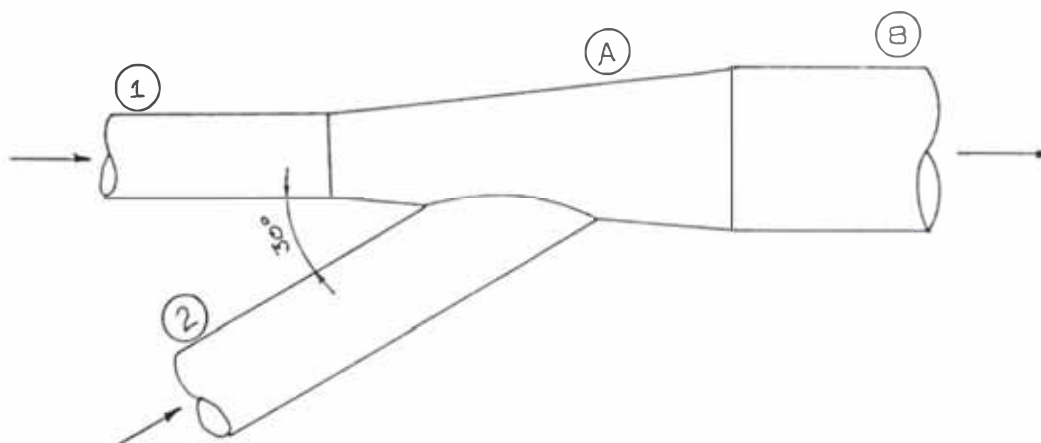
e. Determinación de la caída de presión.

$$SP = SP_d + SP_d$$

$$SP = 2,038 + 0,32 = 2,358'' \text{ de agua}$$

$$SP = 2,358'' \text{ de agua.}$$

f. Corrección de la presión estática por cambio de velocidad en la entrada.





Designación del ducto	diámetro	Area pie <sup>2</sup>	Q CFM	V FPM	VP "deH <sub>2</sub> O	SP "H <sub>2</sub> O
1 - A	5"	0,1364	640	4692	0,9516	-2,037
2 - A	8 1/2"	0,394	1927	4891	1,034	-2,038
A - B	10"	0,5454	2567	4707	0,9576	2,358

Luego de balancear el sistema en A es importante verificar la variación de la velocidad en el ducto principal (A-B)

Por lo que se evalúa una presión de velocidad  $VP_{1,2}$ :

$$VP_{1,2} = \frac{(Q_1 + Q_2)^2}{(1100 (A_1 + A_2))^2}$$

Se debe verificar que  $VP_B < VP_{1,2}$ . Que si esto no ocurre habrá que incrementar su diferencia a la caída de presión en B, a fin de lograr la velocidad del flujo en B.

Por lo tanto

$$VP_{1,2} = \frac{(640 + 1927)^2 \times 0,0523}{(1100 (0,1364 + 0,394))^2}$$

$$VP_{1,2} = 1,012 \text{ " de agua.}$$

Comprobamos que:

$$VP_B = 0,9576 < VP_{1,2} = 1,012 \text{ " de agua}$$

Por lo que el incremento en la presión estática de B ya no es necesario.

**Resultados:**

Diámetro = 10"

Velocidad = 4707 FPM

Volumen de aire = 2 567 CFM

Longitud total = 16 pies

Caída de presión en el ducto = 0,32" de agua

Caída de presión = 2,358" de agua

Los cálculos para las designaciones de los ductos

1 - A, 2 - A, 3 - B, 4 - C, 5 - D, 8 - K,

9 - K, 10 - L, 6 - F, 7 - F, 8a - I, 9a - I,

12 - J, 13 - J, 15 - P, 14 - P, 17 - Q', 16 - Q'.

Siguen el mismo procedimiento efectuado para el cálculo de los ductos 1-A y 2-A. Los resultados y procedimientos de cálculo se encuentran al final en las hojas de cálculo Nros. 01, 02 y 03.

**Balanceo del sistema.**

En todas las intersecciones de :

A, B, C, D, M, K, L, N, F, G, H, I, J, Z, U, P, Q,

Q' y R.

El balanceo se realiza siguiendo los mismos pasos efectuados en la intersección A.

Los resultados y procedimientos de cálculo de este balanceo se encuentra en la hoja de cálculo.

Corrección de la presión estática por cambio de velocidad den las intersecciones.

De la misma manera las conexiones de velocidades en las intersecciones:

A, B, C, D, M, K, L, N, F, G, H, I, J, Z, P, Q, Q'  
y R .

Se realizan siguiendo el mismo proceso de cálculo realizado en A. Los demás resultados se aprecian al final en las hojas de cálculo Nros. 01, 02 y 03.

#### 4.3 Cálculo y selección del sistema de colección de polvos.

Para desarrollar este cálculo y selección se siguen los siguientes pasos:

1. Cálculo de la eficiencia de colección requerida en la planta.
2. Determinación de las propiedades del polvo y las características del proceso de colección.
3. Selección del colector haciendo uso de tablas y comparación económica.
4. Dimensionamiento del equipo para la capacidad deseada.

##### 4.3.1 Cálculo de la eficiencia requerida en la planta.

La eficiencia de colección se define como:

$$(\%) = \frac{C_I - C_S}{C_I} \times 100$$

Donde :

$C_I$  : Cantidad de contaminante que ingresa al colector en mgr/m<sup>3</sup>

$C_S$  : Cantidad de contaminante que se descarga a la atmósfera en mgr/m<sup>3</sup>.

La cantidad de contaminante que se descarga a la atmósfera ( $C_S$ ); normalmente está fijado por las leyes de control de la polución. Así el Ministerio de Salud a través del Instituto de Salud

Ocupacional (ISO), pública en el Reglamento de Bienestar y Seguridad Minera, Anexo IV, las concentraciones máximas permisibles de los contaminantes. Ver Apendice 4.

La cantidad ó concentración de contaminante que ingresa al colector ( $C_p$ ), se obtiene de las evaluaciones ambientales hechas en la planta y estos datos se muestran en el Apendice 5. Evaluación Ambiental de la Sección de Molienda y Cernido.

Concentración  $C_p$  que ingresa al colector:

Para contaminante de Plomo es igual a 10,442 mgr/m<sup>3</sup>, para el zinc es igual a 409,143 mgr/m<sup>3</sup>. El Reglamento de Bienestar y Seguridad Minera indica las concentraciones máximas permisibles para plomo de 0,2 mgr/m<sup>3</sup> y para zinc de 5 mgr/m<sup>3</sup>.

Con estos datos se calcula las siguientes eficiencias de colección:

$$\text{Para el plomo: } = \frac{10,442 - 0,2}{10,442} \times 100 = 98 \%$$

$$\text{Para el zinc: } = \frac{409,143 - 5}{409,143} \times 100 = 98,7 \%$$

Por lo que la eficiencia de colección requerida en la planta será la mayor e igual a 98,7 %. Esto quiere decir que el equipo de colección de polvos

deberá operar con eficiencia de colección superior ó igual al 98,7 %, requisito principal para su selección

#### 4.3.2 Determinación de las propiedades del contaminante y las características del proceso de colección.

La propiedad que determina la eficiencia del colector de polvos, principalmente es el tamaño de la partícula del contaminante que se desea atrapar, por lo que se tomo una muestra del polvo de calcina de zinc y se realizó un análisis granulométrico. Ver Apendice 6, 7, 8 y Cuadro 1.

Los resultados del análisis granulométrico del polvo de calcina de zinc, indican que en un 96 % en peso se tiene partículas de polvo de calcina de zinc con tamaños iguales a 20 micrones y en un porcentaje del 3 % en peso en partículas menores a 20 micrones.

Esto nos permite determinar que el colector debe operar coleccionando polvo de calcina de zinc de 20 micrones porque representan más del 90 % del polvo que contamina el ambiente.

Las características del proceso de colección indican que realizan en frío, porque las temperaturas de la calcina mantienen un promedio de 20 °C a lo largo de todo el proceso de colección.

Otro punto importante es, que el polvo recuperado será devuelto a la planta por lo que el proceso de

colección debe realizarse en las mismas condiciones en que se realiza la molienda, es decir en seco.

#### 4.3.3 Selección del tipo de colector de polvos.

Los equipos de colección de polvos se seleccionan de acuerdo a las siguientes características:

1. Tamaño mínimo de partículas que debe atrapar (en micrones).
2. El proceso de colección puede ser en seco ó en humedo para contaminantes en frio ó en caliente.
3. Eficiencia de colección para el tamaño mínimo de partículas, en porcentaje.

Para el item 1 y 2 ver Tabla 16 y para item 3 ver Tabla 17, que nos proporciona la variación de la eficiencia en función del tamaño de la partícula.

Para diferentes colectores asi como colector de polvo por via humeda (wet collector), colector de filtros (filter), para multiciclones (ciclones de alta eficiencia) y para ciclones.

Conociendo el tamaño mínimo de partícula a atrapar como es del polvo de calcina de zinc igual a 20 micrones y que la eficiencia de colección requerida en la planta debe ser igual o mayor al 98,7 %, se tiene de la Tabla 17, que el colector de filtros tiene una eficiencia del 98,7 % y que los multiciclones tienen una eficiencia de 96 %, ambos para tamaño de partícula de 20 micrones.

**TABLA 16: CARACTERISTICAS DE OPERACION DE LOS COLECTORES DE POLVO.**

TIPO DE COLECTOR	TAMANO MINIMO DE PARTICULA PARA QUE EL COLECTOR OPERE CONVENIENTEMENTE	PROCESO DE COLECCION	
	EN MICRONES	EN SECO	EN HUMEDO
1: Camaras de sedimentacion.			
Por gravedad.	200	Si	No
Por inercia (Cambio de direccion)	50 - 60	Si	No
2: Centrifugo.			
Ciclón de diametro grande	40 - 60	Si	Si
Ciclo de diametro pequeno	20 - 30	Si	—
Ciclón de miniatura	10 - 15	Si	—
3: Colector de filtros	0.5	Si	No
4: Separadores por via humeda (Scrubber)	0.5 - 0.2	No	Si
5: Precipitador electrostatico	0.01 - 0.1	Si	Si

REFERENCIA: DESIGN OF INDUSTRIAL EXHAUST SYSTEMS. pag 129



El requerimiento de la planta exige un colector de polvo de eficiencia igual o superior a 98,7 %, para mantener sus niveles permisibles de contaminación. He considerado para este proyecto seleccionar un colector de filtro de bolsas (bag house), por la razón que este colector cumple con lo que requiere la planta.

#### 4.3.4 Dimensionamiento del colector de polvos.

El colector de polvos de filtro de bolsas (bag house), consiste en una caja de estructura metálica de plancha A-36, de 1/8" de espesor, que encierra al conjunto de bolsas.

El aire polucionado ingresa por la parte inferior y va depositando el polvo en la parte interior de la bolsa para escapar aire limpio por la parte superior.

Dimensionar un filtro de bolsas consiste principalmente en determinar el área de filtrado y el numero de bolsas. Para esto se tiene las siguientes informaciones:

1. Capacidad del colector, CFM.
2. Velocidad de filtración, FPM.
3. Dimensiones de la bolsa.

Del cálculo de las campanas y ductos se tiene como resultado una capacidad de 22 434 CFM, para el filtro de bolsas.

Las velocidades de filtración varían de 2 a 6 FPM.

Velocidades de 4 FPM son adecuados para recuperar polvos consistentes en metales preciosos y polvos de cemento. Velocidades de 6 FPM son adecuadas para recuperar polvos minerales pulverizados, en especial para calcina de zinc, razón por lo que se considera en el diseño.

Datos obtenidos del Design of Industrial Exhaust Systems, por Alden; Industrial Ventilation y ASHRAE.

Las bolsas de filtro generalmente tienen diámetros con rango que varían desde 5 a 12" y con longitudes que varían desde 6' a 20". Sin embargo para un trabajo la relación longitud a diámetro no debería exceder de 20:1; relación considerado en el Air pollution control theory por Martin Crawford.

#### Determinación del área de filtrado (A):

Sabemos:  $Q = V \times A$

Donde:

$$Q = 22\ 434 \text{ CFM}$$

$$V = 6 \text{ f.p.m, velocidad de filtrado}$$

Por lo tanto:

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{22\ 434}{6} = 3\ 739 \text{ pie}^2.$$

Los datos del fabricante de colector de filtro bolsas, indica:

AREAS DE FILTRADO EN PIE CUADRADO (pie<sup>2</sup> )

MODELO	N° DE BOLSAS	LONGITUD DE LA BOLSA EN PULGADAS					
		108"	120"	132"	144"	156"	168"
99	81	1140	1270	1390	1520	--	--
1111	121	1700	1900	2080	2270	--	--
1313	169	2380	2650	2910	3170	3450	3720
1515	225	3170	3530	3880	4230	4590	4950
1715	255	3590	4000	4380	4790	5200	5610

Fuente: Catálogo del Weelabrator. (Para sistemas de limpieza con chorro de aire.

De esta tabla de área de filtrado más proxima a la calculada corresponde al Bag house modelo 1515 con un área de filtro de 3 880 pie<sup>2</sup> , un número de bolsas de 225 y una longitud de bolsa de 132", equivalente a 11'.

## Determinación del diámetro de la bolsa:

Sabemos que el área de filtrado es igual a:

$$A = \frac{\pi d L n}{12}$$

Donde:

A = Area de filtrado, pie<sup>2</sup>

d = Diámetro de la bolsa, pulg

L = Longitud de la bolsa, pies.

n = Número de bolsa.

$$d = \frac{12 A}{\pi L n} = \frac{12 ( 3880 )}{\pi \times 11 \times 225} = 6 \text{ pulg}$$

Dimensiones de la bolsa 6" de diámetro por 11' de longitud.

Del cálculo efectuado del colector de polvos se ha determinado las siguientes características de operación:

### CARACTERISTICAS DE OPERACION DEL COLECTOR DE POLVOS

DESCRIPCION	
1.- Marca	Wheeabrator
2.- Sistema de limpieza	Automático por chorro de aire a 125 PSI máx
3.- Tipo	Succión
4.- Modelo	1515
5.- Longitud de bolsa	11' pies
6.- Diámetro de bolsa	6 pulg
7.- Cantidad de bolsa	225
8.- Caída máxima de presión	6 pulg de Agua
9.- Tipo de acceso para limpieza	Superior
10.- Volumen de aire	22434 CFM
11.- Temperatura máx del polvo de Calcina de zinc	20 °C
12.- Densidad del polvo	2,08 Ton/m <sup>3</sup>
13.- Humedad relativa del polvo	0,5 %
14.- Polvo filtrado	Calcina de Zin
15.- Concentración del polvo	1 p.p.m (1 gr/lit)
16.- Granulometría del polvo	96 % de 20 micrones.
17.- Análisis químico de polvo filtrado:	
Antimonio.....	0,03 %
Cobre.....	0,33 %
Plomo.....	1,90 %
Zinc.....	59,50 %
Cadmio.....	0,17 %
Fierro.....	10,90 %
Azufre.....	3,00 %
Azufre soluble en ácido...	1,60 %
Plata.....	207,00 gr/Tm
18.- Presión atmosférica en planta	19,21 pulg de Hg
19.- Régimen de operación	24 hr/día
20.- Recuperación mínima del polvo	98,7 %
21.- Área bruta del paño	3880 pie <sup>2</sup>
22.- Ratio gas/paño (veloc. filt.)	5,78 : 1

Detalles y dimensiones ver en el plano del Sistema de Ventilación (Plano 5 y 6)

#### 4.4 Cálculo y selección del ventilador.

##### 4.4.1 Parámetros de selección.

De los cálculos de los ductos se determinó lo siguiente:

Volumen de aire: 22 434 CFM

Caida de presión estática: 14,318" de agua  
(considerando la densidad del aire  $0,0523 \text{ lb/pie}^3$ )  
en el sistema de ventilación.

Las características del material que se encuentra presente en el flujo de aire, son los siguientes:

Polvo de calcina de zinc abrasivo, con máxima temperatura  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  y gravedad específica 5,32.

Por estas características es necesario la utilización de un ventilador centrífugo de alabes radiales.

##### 4.4.2 Selección del Ventilador.

De la Tabla 18 se habrá que llevar los parámetros de selección a condiciones normales, como sigue:

Volumen de aire: 22 434 CFM

Pres. estática:  $14,318 \times \frac{0,0755}{0,0523} = 20,7''$  de agua.

Con estos datos de las tablas Nro. 18 seleccionamos un ventilador centrífugo que se encuentra dentro del 1% próximo a su máxima eficiencia mecánica.

**Datos:**

Marca en este caso se considera el CLARAGE.

Tamaño: 129

Dimensiones:

Descarga = 24 1/2" x 28 1/16" ; Area = 4,59 pie<sup>2</sup>

Ingreso = 29" ; Area = 4,59 pie<sup>2</sup>

Velocidad periférica = RPM x 13,22

(Velocidad periférica máxima 17,000 f.p.m)

Diámetro de la rueda = 50 1/2"

**TABLA 18**

**A condiciones = 0,0755 lb/pie<sup>3</sup>**

VOLUMEN CFM	VELOCIDAD DESCARGA FPM	20" SP(*)		207" SP		21" SP	
		RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP
22032	4800	1212	108,7	1230	112,3	1238	113,8
22434				1233	114,6		
22950	5000	1219	114	1237	117,6	1245	119,2

\* SP = Presión Estática.

Interpolando para 20,7" SP determinaremos:

Para 22 032 CFM ==>

$$\text{RPM} = 1238 - (1238 - 1212) \times \left( \frac{21 - 20,7}{21 - 20} \right)$$

$$\text{RPM} = 1238 - (26) \times (0,3) = 1238 - 7,8$$

$$\text{RPM} = 1230$$

$$\text{BHP} = 113,8 - (113,8 - 108,7) \times \left( \frac{21 - 20,7}{21 - 20} \right)$$

$$\text{BHP} = 113,8 - 1,53 = 112,3$$

$$\text{BHP} = 112,3$$

Para 22 950 CFM ==>

$$\text{RPM} = 1\ 245 - (1245 - 1219) \times \left( \frac{21 - 20,7}{21 - 20} \right)$$

$$\text{RPM} = 1\ 245 - 7,8 = 1\ 237$$

$$\text{RPM} = 1\ 237$$

$$\text{BHP} = 119,2 - (119,2 - 114) \times \left( \frac{21 - 20,7}{21 - 20} \right)$$

$$\text{BHP} = 119,2 - 1,56 = 117,6$$

$$\text{BHP} = 117,6$$

Interpolando para 22 434 CFM determinamos.

$$\text{RPM} = 1\ 230 - (1\ 230 - 1\ 237) \times \left( \frac{22\ 032 - 22\ 434}{22\ 032 - 22\ 950} \right)$$

$$\text{RPM} = 1\ 230 - (-3) = 1\ 233$$

$$\text{RPM} = 1\ 233$$

$$\text{BHP} = 112,3 - (112,3 - 117,6) \times \left( \frac{22\ 032 - 22\ 434}{22\ 032 - 22\ 950} \right)$$

$$\text{BHP} = 112,3 - (-2,3) = 114,6$$

$$\text{BHP} = 114,6$$

Luego se tiene:

Velocidad del ventilador: 1 233 RPM

Potencia a condiciones normales: 114,6 BHP

$$\text{Potencia a condiciones de planta: } 114,6 \times \frac{0,0523}{0,075} = 79,9 \text{ BHP}$$

$$\text{Velocidad periférica: } 1\ 233 \times 13,22 = 16\ 300 \text{ FPM}$$

$$16\ 300 \text{ FPM} < 17\ 000 \text{ FPM OK!}$$

$$\text{Potencia de aire} = \frac{\text{CFM} \times \text{TP}^*}{6\ 356}$$

$$= \frac{22\ 434 \times 15,351}{6\ 356}$$

$$\text{Eficiencia del ventilador} = \frac{54,11}{79,9} = 0,67$$

(\*) TP = Presión total

### Especificaciones del ventilador

---

#### DESCRIPCION

---

1.- Ventilador centrifugo	Alabes radiales
2.- Marca (para este diseño)	Clarage
3.- Tamaño	129
4.- Ingreso	Un solo
5.- Rotación del impulsor	Sentido horario
6.- Tipo de descarga	Vertical hacia arriba
7.- Diámetro del impulsor	50 1/2 pulg.
8.- Capacidad del ventilador	22434 CFM
9.- Caida de presión estática	14,318 pulg de Agua
10.- Temperatura atmosférica	50 °F
11.- Presión atmosférica	19,21 pulg de Hg
12.- Velocidad de Impulsor	1233 RPM
13.- Requirimiento de potencia	79,9 HP
14.- Velocidad periférica máx.	16300 FPM

---



#### 4.4.3 Selección del motor.

Selección de la velocidad del motor.- Haciendo uso de la Tabla 19 se tiene que la velocidad del motor debe ser 1 800 rpm. Con ayuda del catálogo para motores de delcrosa se tiene:

Potencia requerida del ventilador= 79,9 HP

Velocidad del ventilador - 1233 RPM.

Considerando una transmisión por fajas en "V" en eficiencia de transmisión de 90% se tiene que la potencia en el eje del motor debe ser mayor a  $79,9/0,90 = 88,8$  HP

Luego con :

Potencia en el eje del motor : 88,8 HP

Velocidad en el eje del motor : 1 800 r.p.m

Considerando que en la planta se dispone de la siguiente fuente de energía eléctrica:

Alto voltaje: 2 300 voltios 3 fases 60 Hz

Bajo voltaje:

(i) Para consumo  
de potencia: 460 voltios 3 fases 60 Hz

(ii) Servicios  
del edificio: 220/120 voltios 1 fase 60 Hz

La variación de la potencia nominal del motor con la altura de 3 800 m.s.n.m y la temperatura máxima de ambiente de 25 °C es del 90% de su valor nominal.

TABLA 19: GUIA PARA SELECCIONAR LA VELOCIDAD DEL MOTOR R.P.M

R. P. M. DEL VENTILADOR	R. P. M. DEL MOTOR
2 400 - 4 000	3 600
1 400 - 2 400	1 800
1 000 - 1 400	1 200
700 - 1 000	900
< 700	600

REFERENCIA : CHEMICAL ENGINEERING

Pag. 171

Mayo 18, 1981

NOTA : MOTORES DE MARCHA LENTA SUELEN SER MAS COSTOSOS, POR LO QUE

DEBERA ELEGIRSE MOTORES DE MARCHA RAPIDA EN LO POSIBLE.

Se selecciona un motor de jaula de ardilla con una potencia nominal de: 125 HP a 60 Hz. Tipo NV280-S4 a 1 800 rpm, para aplicaciones de servicio continuo a 10 °C y 3 800 m.s.n.m.

Las características del motor seleccionado en funcionamiento a condiciones normales (temperatura máxima 40 °C y una altura de trabajo hasta 1000 m.s.n.m ). Son:

Potencia = 125 HP.

Velocidad = 1765 RPM.

Frecuencia = 60 Hz.

#### 4.4.4 Cálculo de la fajas de transmisión.

Para el cálculo de las fajas se hará uso del libro del Ing. Hori. A todas las tablas a las que se hagan mención en este capítulo se referirán a las tablas que aparecen en dicho libro.

Procedimiento:

Pot. de  
diseño = Pot.nominal del motor x Factor de servicio

De la Tabla 1, para ventiladores con potencia mayores a 10 HP, servicio continuo de 16 a 24 horas/día y para motor de accionamiento de jaula de ardilla, clase 1, se tiene factor de servicio de 1,3.

De donde:

Potencia de diseño = 88,82 x 1,3 = 115,5 HP

Determinación de la sección de la faja.

De la Fig. 2, con una potencia de diseño de 115,5 HP y una velocidad en el eje más rápido igual a 1 765 r.p.m. Se tiene que la sección de la faja es sección tipo 5V, con diámetro exterior recomendado de 10" a 16".

Relación de transmisión (mg):

$$mg = \frac{\text{RPM ventilador}}{\text{RPM motor}} = \frac{1\ 765}{1\ 233} = 1,4315$$

Selección de los diámetros exteriores standard de paso de las poleas.

De la Tabla 15 para la sección 5V, el diámetro mínimo es 7 pulg.

Los diámetros recomendados varían de 10 a 16" pulg. De la Tabla 2, El diámetro de paso mínimo en el eje del motor a 1 765 r.p.m. y 125 HP es de 12,6 pulgadas.

De la Tabla 16, seleccionamos la polea con diámetro exterior standard, para la faja de sección 5V la polea standar más próxima a la polea de menor diámetro es 13,2" que corresponde a un diámetro de paso de  $D_p = 13,2 - 0,1 = 13,1"$ .

El diámetro de paso de la polea mayor será:

$$d_p = 13,1 \text{ " } \times 1,4315 = 18,753 \text{ "}$$

El diámetro exterior de dicha polea será:

$$d = 18,753 + 0,1 = 18,853 \text{ "}$$

Consideraremos a las poleas exterior del motor

igual a 13,2" y la del ventilador igual a 18,853".

La velocidad tangencial de la faja será:

$$V = \frac{\pi d n}{12} = \frac{\pi 13,2 \times 1\ 765}{12}$$

de donde  $V = 6\ 095$  FPM., que es menor a 6500 FPM.

Se tiene una polea standard y dentro de los valores recomendados para una sección 5V, que son:

Polea de ventilador = 18,853"

Polea del motor = 13,2"

Relación de transmisión = 1,4315

Selección de la longitud standard de la faja.

$$C \geq \frac{D + 3d}{2} ; \quad C \geq D$$

$$C \geq \frac{18,853 + 3 \times 13,2}{2} ; \quad C \geq 18,853$$

$$C \geq 29,23 ; \quad C \geq 18,853$$

No hay restricciones en el espacio por lo que se asume una distancia entre centro de 30".

Longitud aproximada de la faja.

$$L \approx 2C + 1,65 (D + d)$$

$$L \approx 2 \times 30 + 1,65 (18,853 + 13,2)$$

$$L \approx 112,9"$$

De la Tabla 19, seleccionamos la longitud standard más proxima a  $L = 118''$ , para sección 5V se selecciona una faja número 5V1180 con  $118''$  longitud de paso y  $K_1 = 0,99$ .

Con la ecuación:

$$2C + \frac{\pi}{2} (D + d) + \frac{(D - d)^2}{4C} = L$$

Donde:

$$L = 118''$$

$$D = 18,853''$$

$$d = 13,2''$$

Se evalúan la correcta distancia entre centro:

$$2C + \frac{\pi}{2}(18,853 + 13,2) + \frac{(18,853 - 13,2)^2}{4C} = 118''$$

$$C + \frac{\pi}{4} (18,853 + 13,2) + \frac{(18,853 - 13,2)^2}{8C} = \frac{118''}{2}$$

$$C^2 + \frac{\pi}{4}(18,853 + 13,2)C + \frac{(18,853 - 13,2)^2}{8} = \frac{118''}{2}C$$

$$C^2 + \frac{\pi}{4} (18,853 + 13,2 - \frac{118}{2})C + \frac{(18,853 - 13,2)^2}{8} = 0$$

$$C^2 - 33,82563C + 3,99455 = 0$$

$$\left( C - \frac{33,82563}{2} \right)^2 - \left( \frac{33,82563}{2} \right)^2 + 3,99455 = 0$$

$$\left( C - \frac{33,82563}{2} \right) = \left( \frac{33,82563}{2} \right) - 3,99455$$

$$C = \frac{33,82563}{2} + \left( \frac{33,82563^2}{2} - 3,99455 \right)$$

$$C = 33,71''$$

Potencia por faja.

Determinar el factor por ángulo de contacto ( K )

$$\text{De la Tabla 17 para: } \frac{D - d}{C} = \frac{18,853 - 13,2}{33,71} = 0,168$$

Se tiene K = 0,9764.

Luego:

$$\frac{HP}{FAJA} = \left( \left( \frac{hp}{FAJA} \right)_{\text{tabla}} + HP_{\text{adicional}} \right) K \times K_1$$

$$\text{De la Tabla 21 : } \left( \frac{HP}{FAJA} \right)_{\text{tabla}} = 36,815$$

Para polea de diámetro menor igual a 13,2" y velocidad del eje más rápido 1 765 rpm.

De la Tabla 18, para sección 5V la potencia adicional por relación de transmisión a 1,4315 es:

$$0,0884 \times \frac{1\ 765}{100} = 1,56$$

Por lo tanto:

$$\frac{\text{HP}}{\text{FAJA}} = ( 36,815 + 1,56 ) 0,9764 \times 0,99$$

$$\frac{\text{HP}}{\text{FAJA}} = 37,095$$

Potencia por faja = 37,095 HP

Finalmente el número de fajas es:

$$\frac{\text{Potencia de diseño}}{\text{( HP / FAJA )}} = \frac{115,5}{37,095} = 3,114 \text{ fajas}$$

Por lo que:

Se tiene que usar 4 fajas 5V1180 con poleas 13,2"  
y 18,853" . Distancia entre centros: C = 33,71"



## COMPARACION TECNICO-ECONOMICO SEGUN EL TIPO DE COLECTOR A USAR.

### 5.1 Comparación Técnica.

La comparación técnica en la que se decidió usar un colector de filtro de bolsas en vez de usar un mult ciclón, decisión que se tomo por cuestiones de mayor eficiencia del filtro de bolsas.

La mayor eficiencia implica cumplir con los dos objetivos de uso del colector como son:

1. Evitar la contaminación, manteniendo los niveles de contaminación menores a los indicados como permisibles por el Reglamento de Bienestar y Seguridad Minera.
2. Mayor porcentaje de recuperación de polvo de calcina de zinc, que como bien sabemos tiene un contenido del 59,5% de zinc metálico.

### 5.2 Comparación Económica.

La comparación económica que desarrollaremos

consiste en comparar la inversión que se realiza al disponer del Sistema de Ventilación versus La Cantidad de Polvo Recuperado.

Un sistema de ventilación se compone de:

1. Una red de ductos, campanas y accesorios.
2. Un colector de polvos.
3. Un ventilador.
4. Un motor y su sistema de transmisión.

#### 5.2.1 Determinación de las inversiones.

En un Sistema de Ventilación se realizan las siguientes inversiones:

- Inversión en la adquisición.
- Inversión en la fabricación e instalación.
- Inversión en el mantenimiento.

##### **Inversión en la adquisición:**

Está compuesto por los costos de compra de:

Un colector de polvos (bag house), con una capacidad de 22 434 CFM, estimado en un valor de \$ 200 000 U.S.A.

Un ventilador centrífugo con una capacidad de 22 434 CFM y una presión estática de 20,7" de agua, estimado en un valor de \$ 50 000 U.S.A.

Un motor y sistema de transmisión, motor eléctrico de 125 HP, estimado con un costo de \$ 30 000 U.S.A.

Por lo que la inversión en la adquisición es:

\$ 200 000 USA +
\$ 50 000 USA
\$ 30 000 USA
-----
\$ 280 000 USA

**Inversión en la fabricación e instalación:**

Esta compuesto por los costos de fabricación e instalación de ductos, campanas y accesorios. El costo de fabricación e instalación está estimado en 6,82 \$ USA/lb. El metrado realizado al Sistema de Ventilación, Ver Planos 7, 8 y 9, indica que cuenta con 10 585 lb. de material A-36, de donde la inversión en la fabricación e instalación es de:

$$(6,82 \text{ \$ USA/lb.}) \times 10\,585 \text{ lb.} = 72\,190 \text{ \$ USA.}$$

**Inversión en el mantenimiento:**

La inversión del mantenimiento está compuesta por:  
El mantenimiento del colector de polvos, El mantenimiento de los ductos del Sistema de Ventilación y por el consumo de energía.

**Mantenimiento del colector de polvos (bag house):**

Según el Apéndice 9, en la que se indican costos de mantenimiento de diferentes equipos de colección, se tiene que:

**Bag House**

Tipo de mantenimiento = Cambio de bolsas y revisión  
del sistema de limpieza.

Frecuencia = Semanal.

Duración = 8 Horas.

Personal: 1 Maestro de Primera = S/. 7,5/8 Horas.

1 Ayudante = S/. 7,5/8 Horas.

Promedio de bolsas a cambiar = 4 Bolsas/bag huose  
de 6 1/2"x10' long

Tipo de material de la bolsa = Poliester (usual  
para calcina de  
zinc)

Costo de la bolsa = 35 \$ USA/bolsa

Sistema de limpieza = Inyección de  
chorros de aire  
(uso de Venturi).

Con estos datos estimaremos el costo de material y personal, que son la inversión del mantenimiento del colector de polvos:

$$\begin{array}{r} \text{Cost.de} \\ \text{Mater.} = \end{array} \frac{4 \text{ bolsas}}{\text{bag house semanal}} \times \frac{4 \text{ semana}}{\text{mes}} \times \frac{12 \text{ meses}}{\text{año}} \times \frac{35 \text{ U\$}}{\text{bolsa}} = \frac{6 \ 720 \text{ U\$}}{\text{año}}$$

$$\begin{array}{r} \text{Costo de} \\ \text{Personal} = \end{array} \frac{2 \text{ personal}}{\text{bag house semanal}} \times \frac{4 \text{ semanas}}{\text{mes}} \times \frac{12 \text{ meses}}{\text{año}} \times \frac{7.5 \text{ S/.}}{\text{personal}}$$

$$= \frac{720 \text{ S/.}}{\text{bag house semanal}} = \frac{(720 / 0,95) \text{ U\$}}{\text{bag house semanal}} = \frac{753 \text{ U\$}}{\text{año}}$$

Tipo de cambio Octubre del 91': 1 S/. = 0,95 \$ USA

Luego:

Costo de material = 6 720 \$ USA/año.

Costo de personal = 758 \$ USA/año.

Costo Mant. total = 7 478 \$ USA/año.

### Mantenimiento de los ductos del Sistema de Ventilación

Tipo de mantenimiento = Limpieza de los ductos

Frecuencia = Semanal

Duración = 4 horas

Personal: 2 ayudantes = 2 x 7,5 S./ 8 horas

Cost. de Limp. =  $\frac{2 \text{ pers}}{\text{limp. sem.}} \times \frac{7.5 \text{ S/}}{\text{pers. 8 hr}} \times \frac{4 \text{ hr.}}{\text{dia}} \times \frac{1 \text{ dia}}{\text{sem.}} \times \frac{4 \text{ sem.}}{\text{mes}} \times \frac{12 \text{ mes}}{\text{año}}$

Cost. de Limpieza = 360 S/. /año ( 379 \$ USA/año).

### Consumo de energía:

Potencia del ventilador = 79,9 HP

Costo de energía/hora = 0,007 \$ USA /Kw-hr.

Tiempo de operación

efectiva del ventilador = 8 376 hr/año

Energía Consumida =  $79,9 \text{ HP} \times 8 \ 376 \frac{\text{hr}}{\text{año}} = 669 \ 242 \frac{\text{HP-hr}}{\text{año}}$

En  $\frac{\text{Kw-hr}}{\text{año}} = 669 \ 242 \frac{\text{HP-hr}}{\text{año}} \times 0,7457 \frac{\text{Kw-hr}}{\text{HP-hr}} = 499 \ 054$

Costo del  
Consumo de energía =  $0,07 \frac{\$USA}{Kw-hr} \times 499\ 054 \frac{Kw-hr}{año} = 34\ 934 \frac{\$USA}{año}$

Costo mant. colector de polvos = 7 478 \$USA/año

Costo mant. limpieza de ductos = 379 \$USA/año

Costo consumo de energía = 34 934 \$USA/año

-----  
Costo total de inversión de mantenimiento = 42 791 \$USA/año

#### Resumen de inversión:

Inversión de adquisición = 280 000 \$ USA

Inversión de fabricación e instalación = 72 190 \$ USA

Inversión de mantenimiento = 42 791 \$ USA/año

#### 5.2.2 Determinación del valor de la cantidad de polvo recuperado.

Sabemos que la concentración del polvo de calcina de zinc al colector es de 19,47 mgr/pie<sup>3</sup>.

La capacidad del colector es de 22 434 CFM.

La eficiencia del colector es 98,7 %. Por lo que la cantidad de polvo recuperado es:

$$19,47 \frac{\text{mgr}}{\text{pie}^3} \times 22\ 434 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}} \times 0,987 = 431\ 112 \frac{\text{mgr}}{\text{min}}$$

El tiempo de operación del coledtores 24 horas/día

El tiempo de parada es 1 día a la semana durante

todo el año, es decir:

$$\text{Tiempo de parada} = 8 \frac{\text{horas}}{\text{semana}} \times 48 \frac{\text{semana}}{\text{año}} = 384 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

Luego el tiempo de operación efectivo es:

$$24 \frac{\text{horas}}{\text{año}} \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 8\,760 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

Luego:

$$8\,760 \frac{\text{horas}}{\text{año}} - 384 \frac{\text{horas}}{\text{año}} = 8\,376 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

Finalmente la cantidad de polvo recuperado al año es:

$$0,4311 \frac{\text{Kg.}}{\text{min.}} \times 60 \frac{\text{min.}}{\text{hora}} \times 8\,376 \frac{\text{hora}}{\text{año}} = 217 \frac{\text{Ton}}{\text{año}}$$

El polvo de calcina tiene un valor de 310 \$ USA/Ton de donde el valor del polvo recuperado es:

$$217 \frac{\text{Ton}}{\text{año}} \times 310 \frac{\$ \text{ USA } \$}{\text{Ton}} = 67\,270 \frac{\text{USA}}{\text{año}}$$

Resumiendo:

$$\text{El valor del polvo recuperado} = 67\,270 \frac{\$ \text{ USA}}{\text{año}}$$

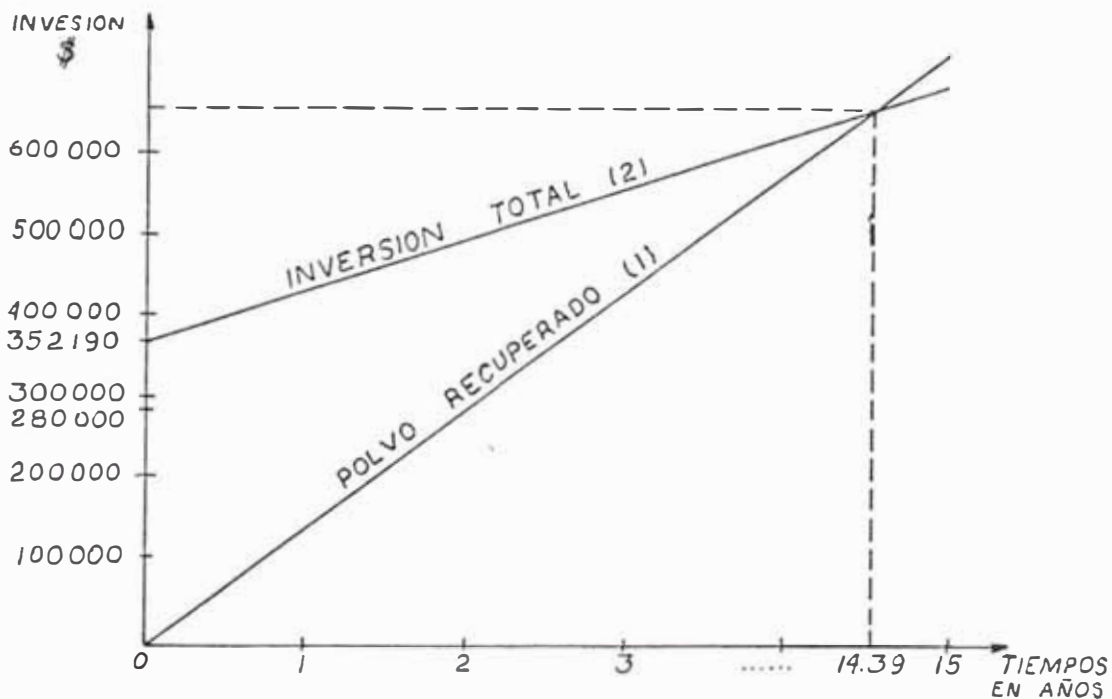
### 5.2.3 Análisis de la Inversión:

Considerando que el colector de polvos tiene una vida útil de 15 años por presentar características estables en su tecnología.

#### A. Determinación del tiempo de recuperación de la inversión.

Evaluaremos el tiempo de recuperación de la inversión.

Sea:



Valor del polvo

$$\text{recuperado} = 67\,270t \dots\dots (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Inversión total} &= 280\,000 + 72\,190 + 42\,791t \\ &= 352\,190 + 42\,791t \dots\dots (2) \end{aligned}$$

Igualando 1 y 2 se tiene:

$$67\,270t = 352\,190 + 42\,791t$$



$$t = \frac{352\ 190}{67\ 270 - 42\ 791}$$

$$t = 14,39 \text{ años}$$

$$t = 14 \text{ años y } 5 \text{ meses.}$$

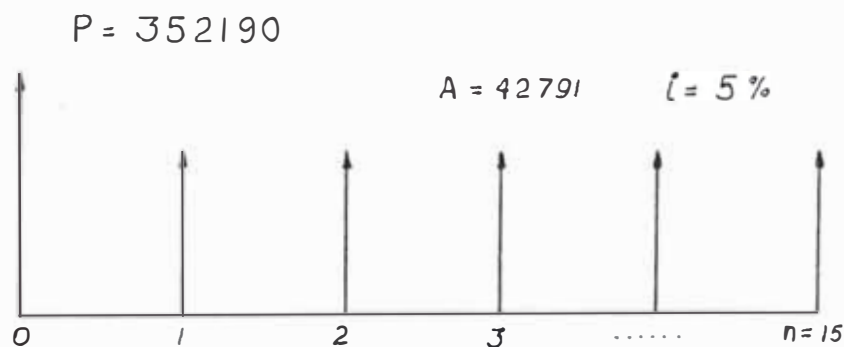
El tiempo de recuperación de la inversión es de 14 años y 5 meses y la vida útil del colector es 15 años.

B. Evaluación de la tasa interna de retorno (TIR).

1. Para la inversión que se realiza en el Sistema de Ventilación consideraremos una vida útil de 15 años con una tasa de 5%, en el que

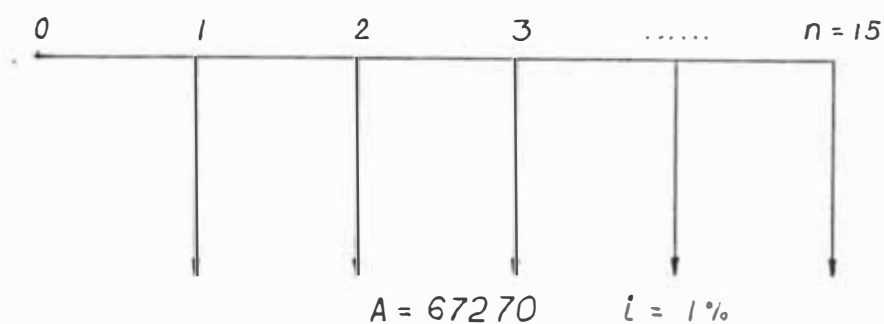
$P = 352\ 190$  \$ USA., es la inversión de adquisición, fabricación e instalación y  $A = 42\ 791$  \$ USA/año es la inversión de mantenimiento.

Sea el diagrama de flujo:



2. Para el polvo recuperado consideremos una vida útil de 15 años con una tasa anual de 1% ya que el precio de la calcina es función del zinc metálico. El que se mantiene estable en el mercado.  $A = 67\ 270$  \$ USA/año, valor del polvo recuperado.

Sea el digrama de flujo:



Para determinar el TIR:

$$VP_1 + VP_2 = 0$$

Donde:

$VP_1$  = Valor presente del caso 1.

$VP_2$  = Valor presente del caso 2.

Así:

$$P_1 + A_1 \left( \frac{P}{A} \right) \frac{n=15}{i} - A_2 \left( \frac{P}{A} \right) \frac{n=15}{i} = 0$$

$$352\ 190 + 42\ 791 \left( \frac{(1+i)^{15} - 1}{i(1+i)^{15}} \right) - 67\ 270 \left( \frac{(1+i)^{15} - 1}{i(1+i)^{15}} \right) = 0$$

$$\left( \frac{(1+i)^{15} - 1}{i(1+i)^{15}} \right) (67\ 270 - 42\ 791) = 352\ 190$$

$$\left( \frac{(1+i)^{15} - 1}{i(1+i)^{15}} \right) = \frac{352\ 190}{(67\ 270 - 42\ 791)}$$

$$\left( \frac{(1+i)^{15} - 1}{i(1+i)^{15}} \right) = 14,39$$

Dando valores a  $i$ , se obtiene :

$$i = 0.01 \text{ de un valor} = 1,0\%$$

Por lo que el TIR = 1,0% que es menor a la tasa del mercado igual al 15 %, por lo que el proyecto de inversión no es rentable.

## CONCLUSIONES.

En el diseño del sistema de ventilación para polvo de calcina de zinc se llegó a las conclusiones siguientes:

1. Para lograr velocidades de aspiración mayores y obtener una distribución de velocidad uniforme al ingreso de la campana, se ha diseñado las campanas con sección de aspiración rectangular y con ángulos de la campana de 60 por lo que el diseño de las campanas controla con mayor eficacia el punto de generación de contaminación.
2. Para evitar la sedimentación del polvo (velocidad de sedimentación = 600 pies/min) se ha considerado una velocidad de transporte de 4500 pies/min, con esta velocidad se logrará también una limpieza automática del interior del ducto.

3. Para el cálculo de la caída de presión en los ductos, se ha considerado un método conservador, el de las longitudes equivalentes, que permitirá mantener una velocidad uniforme en los ductos evitándose de esta manera una sedimentación del polvo.
  
4. En el diseño se ha considerado el uso de una caja de distribución (Plenum). Su dimensionamiento sólo responde a condiciones de disponibilidad de espacio, ya que las presiones y temperaturas del gas al ingreso y a la salida no han variado y el flujo de aire es continuo. El uso de esta caja permite evitar un desarrollo muy amplio de los ductos que dificultarían su mantenimiento, también permite una distribución del gas hacia el colector de polvos con velocidades menores a 4 500 pies/min. Lo cual es aconsejable por que la velocidad que se debe lograr en el interior del colector es de 6 pies/min.
  
5. La concentración de la calcina a la salida del colector es de  $8 \text{ mgr/m}^3$  con una concentración en zinc de  $4,76 \text{ mgr/m}^3$  y en plomo de  $0,15 \text{ mgr/m}^3$ . Por lo que se recupera la mayor cantidad de polvo y también se logra unos niveles de contaminación que están por debajo de

los permisibles que son para el zinc de  $5 \text{ mgr/m}^3$  y para el plomo de  $0,2 \text{ mgr/m}^3$ .

Esto es posible lograr con el uso de un colector de polvos de alta eficiencia como es el colector de filtro de bolsas (Bag house) diseñado.

6. El sistema garantiza una alta eficiencia de recuperación de polvos y evita la contaminación. Por lo que sus objetivos desde el punto de vista técnico se han logrado.

Desde el punto de vista económico el rendimiento de este proyecto es de  $1,0\%$  anual valor que está por debajo de lo que el mercado financiero ofrece y es del  $15\%$  anual. Por lo que económicamente este proyecto no es rentable.

## BIBLIOGRAFIA

1. AIR POLLUTION CONTROL THEORY.

Martín Crawford

Mc. Graw-Hill

1976

2. INDUSTRIAL VENTILATION.

A manual of recommended practice.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists.

Edwards Brothers INC.

1979.

3. PLANT AND PROCESS VENTILATION.

W.C.L. Hemeon.

Industrial Press INC.

1963.

4. DESIGN OF INDUSTRIAL EXHAUST SYSTEMS.

John L. Alden.

Industrial press INC.

1959.

5. AIR POLLUTION MANUAL.

Part II-Control Equipment.

American Industrial Hygiene Association.

American Industrial hygiene Association.

1968.

6. AIR POLLUTION.

Volume IV.

Arthur C. Stern.

American Press INC.

1977.

7. PNEUMATIC CONVEYING OF BULK MATERIALS.

Milton N.krauss.

Mc. Graw-Hill.

1980

8. MINERAL DRESSING.

TAGGART.

9. ASHRAE.



10. INDUSTRIAL POLLUTION CONTROL HANDBOOK.  
HERBERT F. LUND.  
Mc. Graw-Hill.  
1971.
  
11. TOXICS METALS POLLUTION CONTROL AND WORKER  
PROTECTION.  
Marshall Sittig.  
Noyes Data Corporation.  
1976
  
12. FINE PARTICULATE CONTROL TECHNOLOGY.  
*Fabric Filtration*  
*Wet Scrubbing*  
*Electrostatic Precipitation*  
Air Pollution Control Association,  
Reprint.Series.  
1975.
  
13. FUNDAMENTOS DE VENTILACION INDUSTRIAL.  
V.V. Baturin.  
Talleres Ibero-Americanos S.A.  
1976.
  
14. LA MECANICA DE LOS FLUIDOS.  
Irving H. Shames.  
Mc. Graw-Hill.  
1980.

15. MECANICAS DE FLUIDOS Y MAQUINAS HIDRAULICAS.  
Claudio Mataix.  
Harla. S.A.  
1982.
  
16. MANUAL DE OPERACIONES METALURGICAS.  
Centromin-Perú.  
Centromin-Perú.  
1983.
  
17. REGLAMENTO DE BIENESTAR Y SEGURIDAD MINERA.  
Instituto de Seguridad Ocupacional.  
Ministerio de Salud.
  
18. ELEMENTOS DE MAQUINAS.  
J.Hori.
  
19. INGENIERIA ECONOMICA.  
Anthony J. Tarquin.
  
20. FAN ENGINEERING.  
An Engineer's Handbook.  
Robert Jorgensen  
Buffalo Forge Company.  
1970.