

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

" DETERMINACION Y CONTROL DE CONTAMINANTES  
EN LAS EMISIONES DEL HORNO DE CUBILOTE "

- TESIS -

215

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

PRESENTAN:

JOSE ANTONIO LUNA MIRANDA PACHECO

GUILLERMO ANDRES SALGADO ALVAREZ

MEXICO, D.F., 1975



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Tesis  
Año: 1995  
ECHA: 1995  
PROC: 208  
S: 11-208



QUIMICA

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA:

PRESIDENTE	DR. RAMON VILCHIS
VOCAL	ING. FERNANDO MALDONADO
SECRETARIO	ING. JORGE MENCARINI
1ER. SUPLENTE	ING. ALBERTO DE LA FUENTE
2o. SUPLENTE	ING. MARCELINO MADRIGAL

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

CANACINTRA Y FUNDICIONES ASOCIADAS

SUSTENTANTES:

JOSE ANTONIO LUNA MIRANDA PACHECO  
GUILLERMO ANDRES SALGADO ALVAREZ

ASESOR DEL TEMA:

ING. JORGE MENCARINI PENICHE

DETERMINACION Y CONTROL DE CONTAMINANTES EN LAS  
EMISIONES DEL HORNO DE CUBILOTE

---

INDICE

- I. INTRODUCCION
- II. GENERALIDADES
- III. DETERMINACION DEL FLUJO DE GASES
- IV. DETERMINACION DE PARTICULAS
- V. NATURALEZA DE LAS EMISIONES
- VI. METODOS DE CONTROL
- VII. CONCLUSIONES
- VIII. BIBLIOGRAFIA

A MIS PADRES,  
POR TODA SU AYUDA Y ESFUERZO...

A MI HERMANA PIKY,  
POR SU AYUDA Y COMPRENSION...

A SILVIA,  
CON TODO MI AMOR...

A MIS HERMANOS MARTHA Y JAIME,  
COMO EJEMPLO...

... JOSE ANTONIO.

A MIS PADRES,  
CON TODO MI CARIÑO...

A MIS HERMANOS...

A LOS BUENOS AMIGOS...

A " MI MAZATLAN QUERIDO "...

... GUILLERMO.

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

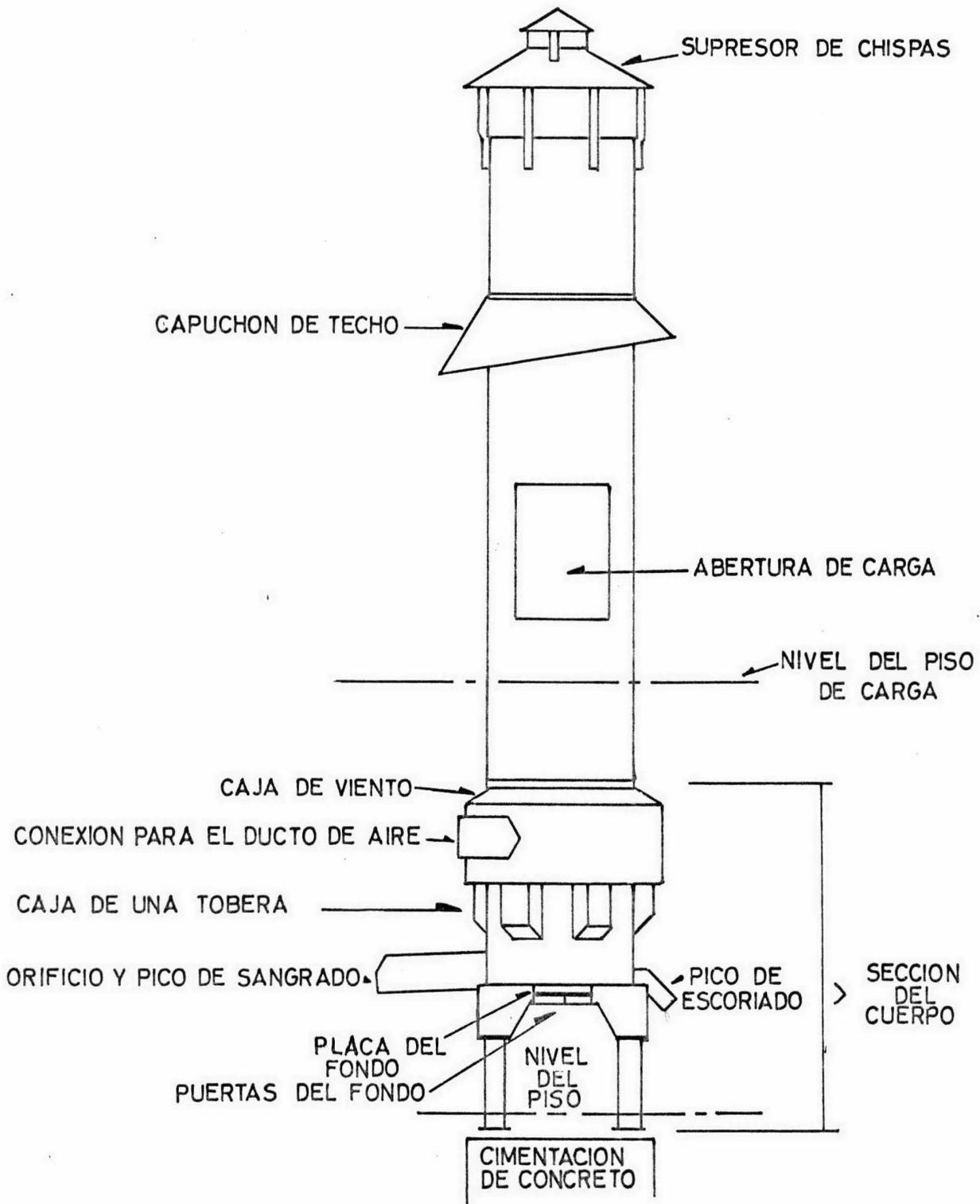
Con la publicación de la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental en el Diario Oficial de la Federación de fecha 23 de marzo de 1971, de la cual se deriva el Reglamento para Prevenir y Controlar la Contaminación Atmosférica Originada - por la Emisión de Humos y Polvos, éste establece en su Artículo 26 que " Los cubilotes de fundición deben equiparse con aditamentos para limpieza de gases que operen, separando el 80% en peso de todos los polvos en los gases de descarga del cubilote ".

Del artículo anterior, se desprende que una de las fuentes contaminantes por humos y polvos, es la fundición con horno de cubilote, lo cual no quiere decir que sea la principal, sino una entre muchas fuentes emisoras.

El horno de cubilote, por su economía y fácil construcción, - es el horno de fusión más sencillo y eficiente empleado en la fusión del hierro gris, como la unidad primaria en la fusión del hierro maleable y como el medio de fusión de un tonelaje considerable de arrabio, chatarra y spiejel para transferencia a los hornos de hogar abierto en la producción de aceros, cobre, aleaciones no ferrosas y otros

productos.

Para determinar la cantidad total de humos y polvos arrojados a la atmósfera debido a las emisiones que durante el proceso de operación se originan en el horno de cubilote, es necesario efectuar las mediciones con el equipo adecuado y de fácil obtención para la industria. Es por tal motivo, que en este trabajo se pretenden señalar las indicaciones, así como el equipo necesario para que el industrial de esta rama cuente con las bases suficientes para determinar los valores reales de las emisiones que producen los hornos de cubilote y con ello proceder a la instalación del equipo adecuado para el control de las mismas, para cumplir con los requerimientos que señala el reglamento mencionado.



CROQUIS DE UN CUBILOTE CONVENCIONAL MOSTRANDO  
DIVERSAS PARTES

FIGURA # 1

## CAPITULO II

### GENERALIDADES

Desde la aparición del hombre en la Tierra siempre ha vivido en una atmósfera más o menos contaminada, por lo menos desde que consiguió dominar el fuego. Recordemos las cuevas prehistóricas cuyas paredes y techos aún hoy ahumados, recuerdan gráficamente el ambiente enrarecido en que se desenvolvía. Ya en el año 400 A.C., Hipócrates aludía a la contaminación atmosférica al referirse al " polvo fatal " que existía en el aire de las calles o plazas de las ciudades griegas. Más tarde, en el siglo XVIII se sintió ya la necesidad de depurar el humo y gases procedentes de fundiciones y canteras, para lo cual empezaron a plantearse determinados medios húmedos. Es muy probable que mucho antes se utilizasen las cámaras de sedimentación para precipitar las partículas contenidas en los gases.

Vemos pues, que la contaminación como problema, no es precisamente algo nuevo que se nos ha presentado inseperadamente, sino que ha sido un fenómeno que se ha ido desarrollando paulatina y constantemente a medida que la técnica y las instalaciones industriales se han ido agigantando, hasta llegar al estado actual de la contaminación del aire con su aspecto verdaderamente inquietante y peligro-

so de cara al presente y futuro de la humanidad. Y es que la contaminación en el sentido más amplio que se le puede dar a la palabra, está directamente relacionada con la acción del hombre, con el medio que la rodea, mejor dicho, con la destrucción progresiva y constante que realizan diariamente los seres humanos en su lucha por la dominación de la tierra, el mar y el espacio.

Sin embargo, esa misma técnica destructiva de nuestro medio ambiente está generando otro tipo de problemas que la contaminación industrial plantea y sobre los cuales inciden una serie de factores particulares y más bien específicos de cada industria e instalación, especialmente el factor económico, es decir, el costo de la instalación necesaria para la debida corrección depuradora de humos, gases y vapores, antes de ser lanzados a la atmósfera.

Para conseguir eso, son necesarias a veces, grandes sumas que parecen prácticamente improductivas desde el punto de vista del industrial que deba corregir sus problemas de contaminación, pero que no lo son desde un punto de vista más general, dado el elevado costo que pagamos todos en corregir los estragos producidos por la contaminación del aire.

De lo que no cabe duda, es que no debemos cruzarnos de brazos ante el problema y, salgan de donde salgan los medios financieros, estamos obligados a actuar de forma más rápida posible para -

conseguir una mejora en el deterioro de la atmósfera que nos rodea.

Hay que tener en cuenta que en muchos casos las empresas - que contaminan pueden aprovechar los residuos recuperados, retornándolos simplemente al circuito de fabricación, o bien desarrollando nuevas técnicas para su aprovechamiento.

En varios países, las normas que se aplican para evitar la - contaminación y las que se refieren específicamente a cubilotes de fundición, establecen que se deben suprimir del 80 al 85% en peso de las emisiones totales de una chimenea de cubilote no controlada, por medio de un equipo colector de polvos adecuado. En nuestro país, existe el Reglamento para Prevenir y Controlar la Contaminación Atmosférica originada por la Emisión de Humos y Polvos, el cual, en su Artículo 26, señala suprimir el 80% en peso de los polvos en las - emisiones del horno de cubilote.

El horno de cubilote puede ser definido sencillamente como - una cavidad revestida de ladrillo refractario, con las aberturas necesarias para el escape de los gases y la carga de los materiales en la parte superior y en el fondo, para la entrada de aire, la extracción

del hierro fundido y la escoria. En el fondo del horno se coloca el combustible y se enciende, después de lo cual son cargadas capas alternadas de material y combustible al mismo tiempo que se inicia el soplado de aire y se continúa por el tiempo que se desee, dependiendo de la cantidad de material a fundir.

Una de las características notables de este horno, es que los gases que ascienden entran en contacto con los materiales de fusión que descenden y tiene lugar un cambio de calor directo y eficiente de los gases calientes a los materiales de fusión. El combustible que descende reemplaza al que es quemado de la cama original de coque y se mantiene la altura de la cama.

La mayor proporción del hierro fundido tiene como unidad fusora el cubilote, debido principalmente a su simplicidad, flexibilidad, bajo costo de fusión, productividad elevada por unidad de costo de capital y por la naturaleza continua de su operación. Los cubilotes convencionales encuentran su mayor rentabilidad en la fusión de material de buena calidad, los cubilotes especiales, como los que usan aire caliente y los básicos pueden utilizar materia prima de menor calidad.

Los hornos eléctricos pueden también consumir materia prima de costo inferior, pero su desarrollo se ha visto limitado por el alto costo de capital del equipo necesario y, así mismo, por el elevado precio de la energía eléctrica.

En el mundo se puede apreciar una tendencia creciente hacia la concentración de la producción de hierro en fundiciones mecanizadas con requerimientos de metal fundido en continuo de 10-20 ton/h. e incluso más. El cubilote es el único horno que puede cumplir esta operación en forma satisfactoria. Es interesante a este respecto indicar que para producir 20 ton/h. en un horno eléctrico se necesita una potencia instalada próxima a 15,000 KVA.

Puede decirse que en el futuro la mayor parte del metal líquido seguirá siendo producido en el cubilote, limitándose los hornos eléctricos a la producción de fundición maleable y modular empleando sistemas " duplex " para el mantenimiento, sobre calentamiento y tratamiento del metal procedente de una unidad de fusión primaria consistente en un cubilote.

Desde otro punto de vista, analizando las partes del horno de cubilote en base al servicio, se divide en cuatro zonas que en orden de importancia son:

1. Zona de Fusión
2. Solera o Crisol
3. Zona de Carga
4. Zona Arriba de la Puerta de Carga.

1. Zona de Fusión. Esta zona se extiende a partir de las toberas hacia la parte superior del cubilote, a lo largo de una distancia que

depende de la altura de la cama de coque y de la velocidad del ai re. Las condiciones más severas se encuentran precisamente - arriba de las toberas, en donde tiene lugar la oxidación del hie- rro y otros elementos siendo el ataque de la escoria el más des- tructivo. La alta temperatura en esta zona incrementa la acción química y la erosión mecánica, la penetración del aire soplado en el coque tanto enfrente como arriba del nivel de las toberas - - afecta al refractario, la condición es por lo general más severa en los cubilotes de tamaño reducido.

2. Crisol o Solera. En esta zona la temperatura es de 150 a 200°C más baja que en la zona de fusión y el revestimiento está en con- tacto solamente con metal fundido, escoria y coque, relativamen- te estático de modo que los efectos de la temperatura y de la abra- sión no son serios a no ser que el hierro esté fuertemente oxida- do; la reacción química con el revestimiento tiene escaso lugar, pero si es posible alguna penetración por la escoria.
3. Zona de Carga. El revestimiento del cubilote en la zona de carga no está sujeto a temperaturas muy elevadas ni al ataque de la es- coria, pero la abrasión es muy severa tanto por el impacto de la operación de carga como de la fricción de la carga sólida en su - movimiento descendente. Esta condición está influenciada por el método de carga, llega a su máximo con determinados tipos de - - carga mecánica y quizás es poco notable en la carga cuidadosa a

mano en cubilotes pequeños.

Es en esta zona en donde ocurre a veces una forma de desintegración que es causada por un depósito gradual de carbón en las porosidades de los refractarios como resultado de la descomposición catalítica del monóxido de carbono en presencia de hierro a unos 500°C. La reacción es  $2\text{CO} \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{C}$

4. Arriba de la Puerta de Carga. En esta zona las condiciones no son severas, siendo la función del revestimiento meramente la de proteger a la coraza del calor de los gases que suben por la chimenea, sirviendo de un tiro natural dependiendo de la altura para lograr la succión de los gases e implicando un ahorro de combustible.

Por otra parte, sería de gran ayuda al fundidor que se pudiese establecer una carga de emisión promedio en la operación de fusión en el cubilote, esto es sin embargo imposible, debido a la variedad de operaciones entre una fundición y otra debido al complejo ciclo de fusión, a la composición del metal, a la complejidad de operaciones en diversas fundiciones.

El problema del fundidor en lo concerniente al control de la contaminación del aire y en particular en el control de las emisiones del cubilote, es principalmente un problema de molestias puesto que el daño producido por la contaminación en la salud no es muy grave.

## CAPITULO III

## DETERMINACION DEL FLUJO DE GASES

El flujo de gas a través de un conducto, es función directa de la velocidad promedio del gas y del área de la sección transversal del conducto ( $F = \bar{V} \times A$ ). La velocidad de un gas es función directa de su presión dinámica ( $V = \sqrt{2g Pd}$ ). Este método se basa en la propiedad del sistema de tubo de Pitot - manómetro, de ser capaz de medir las presiones totales (dinámica y estática) del gas en el conducto.

Según sea el caso puede utilizarse cualquiera de los tres tipos de Pitot.

Tubo de Pitot normal.- Debe emplearse de preferencia a los otros dos siguientes, ya que éste no tiene caídas de presión considerables, salvo cuando no se puedan obtener resultados correctos debidos a las condiciones de operación.

Tubo de Pitot tipo S.- Puede usarse cuando el tubo de pitot normal se obstruya por la acción del polvo, humedad o ambos. Así mismo, se puede usar para determinar velocidades del flujo de gases próximas a la velocidad límite de 3 metros por segundo. En general, necesita calibración y aplicación de factores de corrección.

Tubo de Pitot invertido.- Puede usarse cuando el flujo gaseoso contenga cantidades exageradas de polvo, para evitar la obstrucción y poder determinar las emisiones.

Con respecto a los manómetros, puede utilizarse cualquiera de los siguientes tipos: de columna o tipo U, de diafragma o tipo Bourdon, lo mismo con los termómetros puede usarse el de bulbo bimetalico o termopar de acuerdo con las necesidades del caso.

a) Localización de la Estación de Prueba.

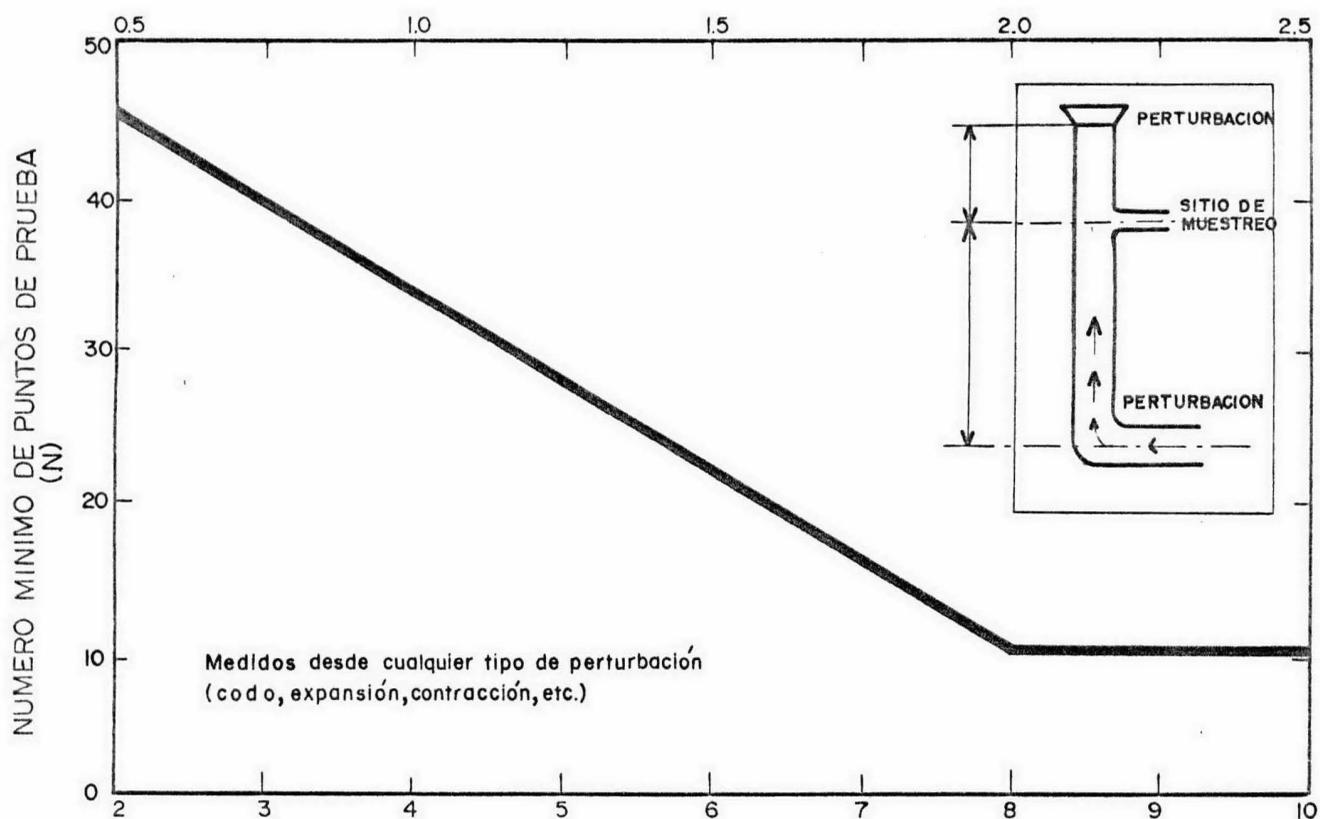
La localización ideal de la estación de prueba es de 6 a 8 veces el diámetro del ducto alejado de cualquier turbulencia en el sentido del flujo y de dos veces el diámetro antes de la siguiente turbulencia en contra del sentido del flujo.

Este es el criterio a seguir, pero en casos en donde no sea factible esto y que la localización de la estación de prueba forzosamente esté localizada más cercana a cualquier turbulencia, se deberán tomar un número mayor de puntos de prueba de tal forma que el promedio sea lo más representativo posible.

b) Puertos de Muestreo.

Una vez que se ha localizado la estación de prueba, se hacen dos perforaciones de 76 mm. de diámetro a 90° una de la otra, esto es con el fin de que en el momento de tomar las muestras se barra completamente el área transversal en cada uno de los ejes del ducto.

(NUMERO DE DIAMETROS DEL CONDUCTO EN CONTRA DEL SENTIDO DEL FLUJO\*)  
(DISTANCIA A)



(NUMERO DE DIAMETROS DEL CONDUCTO EN CONTRA DEL SENTIDO DEL FLUJO\*)  
(DISTANCIA B)

### USO DE LA FIGURA

- 1.- Se determinan A y B.
- 2.- Se determina N para cada distancia.
- 3.- Se selecciona el mayor de los valores de N, cuando este no sea múltiplo de 4<sub>z</sub> se toma el siguiente número mayor que si lo sea.

DETERMINACION DEL NUMERO DE  
PUNTOS DE PRUEBA EN CONDUCTOS

Número del- punto trans- versal sobre un diámetro	Número de puntos transversales sobre un diámetro									
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
1	4.4	3.3	2.5	2.1	1.8	1.6	1.4	1.3	1.1	1.1
2	14.7	10.5	8.2	6.7	5.7	4.9	4.4	3.9	3.5	3.2
3	29.5	19.4	14.6	11.8	9.9	8.5	7.5	6.7	6.0	5.5
4	70.5	32.3	22.6	17.7	14.6	12.5	10.9	9.7	8.7	7.9
5	85.3	67.7	34.2	25.0	20.1	16.9	14.6	12.9	11.6	10.5
6	95.6	80.6	65.8	35.5	26.9	22.0	18.8	16.5	14.6	13.2
7		89.5	77.4	64.5	36.6	28.3	23.6	20.4	18.0	16.1
8		96.7	85.4	75.0	63.4	37.5	29.6	25.0	21.8	19.4
9			91.8	82.3	73.1	62.5	38.2	30.6	26.1	23.0
10			97.5	88.2	79.9	71.7	61.8	38.8	31.5	27.2
11				93.3	85.4	78.0	70.4	61.2	39.3	32.3
12				97.9	90.1	83.1	76.4	69.4	60.7	39.8
13					94.3	87.5	81.2	75.0	68.5	60.2
14					98.2	91.5	85.4	79.6	73.9	67.7
15						95.1	89.1	83.5	78.2	72.8
16						98.4	92.5	87.1	82.0	77.0
17							95.6	90.3	85.4	80.6
18							98.6	93.3	88.4	83.9
19								96.1	91.3	86.8
20								98.7	94.0	89.5
21									96.5	92.1
22									98.9	94.5
23										96.8
24										98.9

(Porciento del diámetro del conducto desde la pared interior hasta el punto transversal).

Idf  
24/VIII/75.

TABLA # 1

En las mencionadas perforaciones se sueldan dos medios coples que servirán para introducir el tren de muestreo, en los cuales una vez realizado dicho objetivo, se sellarán con dos tapones macho para evitar descompensaciones en el tiro de la chimenea.

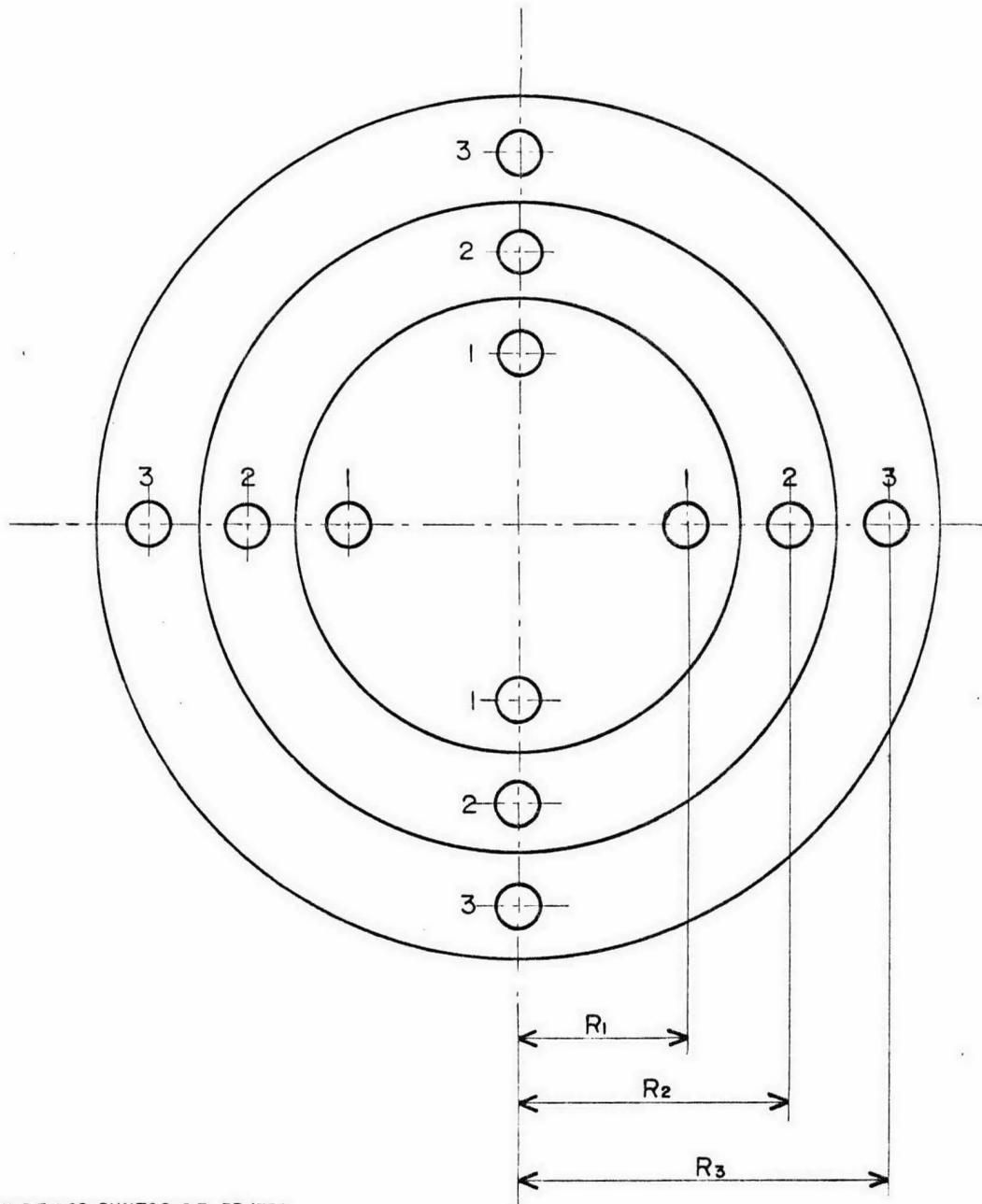
Este método está basado en el concepto de que la velocidad promedio en el ducto es función directa de la presión dinámica promedio  $\bar{V} = \sqrt{2g \bar{P}_d}$ . De esta ecuación se desprende que la presión con la cual se obtenga esta velocidad dependerá del cuidado que se tenga para tomar las lecturas y determinar el promedio de la presión dinámica  $P_d$ , para ello ya se cuenta con el número mínimo de puntos de prueba calculados en la Figura 2, pero no así con la localización de cada punto dentro del ducto, los cuales se deben de establecer de acuerdo con la ecuación

$$R = D \sqrt{\frac{2z - 1}{4K}} \quad \dots\dots (1)$$

en donde  $R$  = distancia del centro al punto de prueba ( m )  
 $D$  = diámetro interno de la sección transversal del conducto ( m )  
 $Z$  = enésimo punto de prueba desde el centro ( adimensional )  
 $K$  = número de puntos de prueba en una corrida ( ad. )

o a partir de la Tabla # 1 en la que se establece el porcentaje del diámetro del conducto desde la pared interior hasta el punto transversal.

Quedando cada punto para tomar la muestra, de acuerdo como se explica en la siguiente Figura # 3.



NOTA: LA LOCALIZACION DE LOS PUNTOS DE PRUEBA A LO LARGO DE UN DIAMETRO SE CALCULA CON LA SIGUIENTE FORMULA:

$$R = D \sqrt{\frac{2z-1}{4k}}$$

FIGURA # 3

POSICIONES DE LOS PUNTOS DE PRUEBA  
EN CONDUCTOS DE SECCION CIRCULAR

c) Procedimiento.

La instalación del equipo debe hacerse de acuerdo con las instrucciones del fabricante del equipo utilizado, debiendo vigilarse que la boquilla del tubo de pitot en operación se mantenga paralela a la dirección del flujo y pueda desplazarse en esta posición a través de la línea de medición.

Las condiciones de operación deben mantenerse lo más estables - posible durante las mediciones. En caso de condiciones inestables, se recomienda tomar un número mayor de lecturas.

Se hace un análisis Orsat de los gases de las emisiones, el cual - nos determinará el porcentaje de dichos gases.

## Análisis Orsat

CO	-----	A%
CO <sub>2</sub>	-----	B%
O <sub>2</sub>	-----	C%
N <sub>2</sub>	-----	D%
$\Sigma$ = 100 %		

Sabiendo de antemano que estos resultados están en base seca, se procede a hacer su determinación en base húmeda ya que estos gases vienen con humedad, la cual les fue eliminada en el condensador y conociendo su cantidad, se calcula su porcentaje.

BASE HUMEDA						
	%vol.	PM	A - 100 %			
CO	Ah	28	Ah - (100-H)			
CO <sub>2</sub>	Bh	44				
O <sub>2</sub>	Ch	32				
N <sub>2</sub>	Dh	28				
H <sub>2</sub> O	H%	18				
$\Sigma = 100 \%$						
				% vol. X P.M.	$\overline{P_m}$	
				Ah X 28 =	A <sub>i</sub>	
				Bh X 44 =	B <sub>i</sub>	
				Ch X 32 =	C <sub>i</sub>	
				Dh X 28 =	D <sub>i</sub>	
				H X 1d =	H <sub>i</sub>	
				$\Sigma =$		Peso molecular prom. de la mez- cla.

Ahora se procede a calcular la densidad molar ( $\rho_m$ )

$$\rho_m = \frac{\overline{P_m}}{\text{vol. molar}} = \frac{\overline{P_m}}{22.4 \text{ l}} \quad \text{haciendo corrección por Presión y - Temperatura.}$$

Tenemos:

$$\rho_{\text{real}} = \rho_m \times \frac{T_{\text{std.}}}{T_{\text{real}}} \times \frac{P_{\text{real}}}{P_{\text{std.}}}$$

Se debe determinar la densidad del gas en caso de que ésta no sea conocida.

Deben tomarse lecturas del termómetro antes y después de cada - corrida y usar el valor de la temperatura media para los cálculos.

Se nivela el manómetro y se calibra a cero antes de que se conecte al tubo de Pitot. En seguida se conecta éste al manómetro y se lee el cero en la escala con la boquilla protegida de corrientes de aire, ajustando de nuevo el aparato si es necesario para leer cero. A - continuación se introduce el tubo de Pitot al punto deseado, cuidan-

do que no se produzcan efectos indeseables de presión en el manómetro, debiendo en su caso, sellar la abertura que quede entre el tubo Pitot y el orificio del conducto.

Durante la operación con el tubo de Pitot, la boquilla de éste debe mantenerse apuntando en la dirección de donde viene el flujo. A continuación debe medirse en cada uno de los puntos determinados ( ver la Tabla 1 y figura 3 ), dando tiempo en cada punto de estabilizar la lectura, cuando las fluctuaciones persistan deberá estimarse el promedio de la lectura.

Para cada punto de prueba se anota la lectura del manómetro, cuya lectura diferencial da la medida de la presión dinámica en ese punto. Debe efectuarse la comprobación del ajuste original del manómetro después de cada corrida, anulándose en cada caso de desajuste.

Con un manómetro cuya boquilla de entrada sea perpendicular al flujo, se determina la presión estática. Puede usarse el tubo de Pitot con el manómetro mencionado anteriormente si la escala de éste lo permite, conectando solamente la línea de presión estática.

#### d) Cálculos.

El flujo de gas se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$\bar{P}_d = \left( \frac{\sum P_d^{0.5}}{N} \right)^2 \quad (2) \quad \dots \text{cálculo de la presión dinámica media}$$

cálculo de la velocidad media en condiciones normales, tomando en

cuenta que la densidad del gas es diferente de la del aire.

$$\bar{V} = 0.077 C \sqrt{\frac{\bar{P}_d P}{\rho_r T}} \dots (3)$$

Cuando la densidad del gas es igual a la del aire

$$\bar{V} = 0.0667 C \sqrt{\frac{\bar{P}_d P}{T}} \dots (4)$$

Cálculo del flujo

$$F = \bar{V} A \dots (5)$$

De donde:

$P_d$  = Presión dinámica ( Pascales )

$N$  = Núm. total de puntos de prueba ( adimensional )

$\bar{V}$  = Velocidad media del gas en el conducto de la estación ( m/seg ) de prueba.

$C$  = Coeficiente de corrección del tubo de Pitot ( ad )

$P$  = Presión absoluta en el conducto ( Pa )

$\rho_r$  = Densidad real del gas en el conducto ( Kg/m<sup>3</sup> )

$T$  = Temperatura absoluta del gas al inicio de la prueba ( °K )

$F$  = Flujo de gas en condiciones reales ( m<sup>3</sup>/Seg )

$A$  = Area efectiva del conducto ( m<sup>2</sup> )

Cálculo del coeficiente del tubo de Pitot.

Cuando no se conoce el coeficiente de un tubo de Pitot, se mide la presión dinámica en algún punto de la corriente del gas en movimiento, con el tubo de Pitot cuyo coeficiente va a determinarse y con un tubo de Pitot con coeficiente conocido. La velocidad de flujo de la corriente de gas debe estar dentro de los límites de trabajo normales.

Cálculos:  $C = C_n \sqrt{\frac{h_n}{h}} \dots (6)$

Donde:

- $C$  = Coeficiente del tubo Pitot a determinar ( ad. )  
 $C_n$  = Coeficiente del tubo Pitot conocido ( ad. )  
 $h_n$  = Presión dinámica medida por el tubo de Pitot de coeficiente conocido ( Pa )  
 $h$  = Presión dinámica medida por el tubo de Pitot a verificar ( Pa ).

Para tubos de Pitot tipo S deben compararse los coeficientes primero con una boca apuntando en la dirección del flujo y luego invirtiendo la posición. Se usa el tubo de Pitot solamente si los dos coeficientes difieren en no más de 0.01

Desarrollo de la ecuación para medición de velocidad en un ducto por medio del tubo de Pitot.

Partiendo de la ecuación fundamental:

$$P_m = P_e + \frac{dV^2}{2gc} \quad \dots ( 7 )$$

En donde:

- $P_m$  = Presión manométrica total ( Kgf/m<sup>2</sup> )  
 $P_e$  = Presión estática  
 $d$  = Densidad del gas ( Kg/m<sup>3</sup> )  
 $V$  = Velocidad del gas ( m/seg )  
 $gc$  =  $9.81 \frac{Kg \cdot m}{Kgf \cdot seg^2}$  ; 1 Kgf = 9.81 Newtons.

Sustituyendo en la ecuación ( 7 )

$$9.81 P_m = 9.81 P_e + \frac{9.81 d V^2}{2gc} \quad \dots ( 8 )$$

Considerando el factor  $\frac{9.81}{gc} = 1$ , se tiene:

$$P'm = P'e + \frac{\rho V^2}{2} \quad \dots (9)$$

En donde:

$P'm$  = Presión manométrica total ( Pa )

$P'e$  = Presión estática ( Pa )

$\frac{\rho V^2}{2}$  = Presión dinámica ( Pa )

Si se utiliza un manómetro diferencial para hacer las lecturas del tubo de Pitot, se tiene

$$P'm - P'e = P_d = \frac{\rho V^2}{2} \quad \dots (10)$$

Y despejando  $V$ , se tiene:

$$V = \sqrt{\frac{2 P_d}{\rho}} \quad \dots (11)$$

Introduciendo el coeficiente  $C$ , considerando la presión dinámica media y la densidad normal se tiene:

$$V = C \sqrt{\frac{2 \bar{P}_d}{\rho_n}} \quad \dots (12)$$

$$\text{Como } \rho_n = \rho \frac{P_n T}{P T_n} \quad \dots (13)$$

Sustituyendo los valores conocidos de:

$T_n = 298^\circ\text{K}$  y  $P_n = 101325 \text{ Pa}$ , se tiene:

$$V = 0.077 C \sqrt{\frac{\bar{P}_d P}{\rho T}} \quad \dots (14)$$

Cuando la densidad del gas es igual a la del aire, se tiene:

$$\rho = \rho_n = 1.18 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Sustituyendo en ( 14 ), se obtiene:

$$V = 0.71 C \sqrt{\frac{\bar{P}_a P}{T}}$$

Que es la velocidad del gas..

$d_n$  = Densidad del aire ( Kg/m<sup>3</sup> )

$d_r$  = Densidad real del gas ( Kg/m<sup>3</sup> )

$P_n$  = Presión atmosférica ( Pa )

$P$  = Presión absoluta en el conducto ( Pa )

$T_n$  = Temperatura atmosférica ( °K )

$T$  = Temperatura absoluta del gas al inicio de la prueba ( °K )

## CAPITULO IV

## DETERMINACION DE PARTICULAS

- a) Planeación. Para poder determinar el contenido de partículas sólidas en la emisión, se requiere del conocimiento preliminar del proceso que origina la emisión gaseosa cargada de polvo para planear la colección de la muestra; consecuentemente, el muestreo no debe ser separado del proceso en sí, debiéndose considerar todo el conjunto como una sola cosa la muestra y el uso que se le va a dar, es decir, el muestreo debe relacionarse con el proceso por lo que debe recabarse información completa sobre peso del proceso, flujo de gases, consumo de combustible, temperaturas y presiones de operación durante el período de muestreo, incluyendo el balance de materiales.

En primer lugar, debe estudiarse si el proceso es estable dentro de las variaciones normales o si es cíclico con una iniciación y terminación predecibles. Si el proceso es estable, deben mantenerse sus condiciones de operación en un nivel determinado durante tiempo suficiente para permitir varios muestreos de duración satisfactoria. Si el proceso es cíclico, debe decidirse si se muestrea durante un ciclo completo o si éste es lo suficientemente largo para poder dividirse en etapas definidas. Frecuentemente es preferible muestrear un

ciclo por etapas ya que el promedio obtenido en esta forma es usualmente más representativo que el promedio de muestreos durante el ciclo total.

Si el ciclo es corto, es conveniente muestrear durante varios ciclos para obtener una muestra de peso suficiente para disminuir el margen de error y por lo tanto, que resulte representativa.

En los procesos con régimen de emisión variable, el muestreo debe de hacerse de tal manera que resulte representativo del proceso que se desea investigar.

Debe procurarse tener un espacio suficiente para realizar las maniobras del muestreo, considerando especialmente la longitud de la sonda así como con suministro de corriente eléctrica adecuada, de aire comprimido, agua o vapor, de acuerdo con los requerimientos del equipo que se utilice. El sitio de muestreo debe reunir condiciones básicas de seguridad, contando con elementos tales como: Iluminación adecuada, plataforma y barandales de protección suficientemente resistentes y de acceso seguro, protección contra descargas eléctricas, especialmente en tiempo lluvioso y contra gases, vapores y polvo.

Al efectuarse muestreos cerca de precipitadores electrostáticos o lugares donde puedan existir cargas electrostáticas, deben ponerse a tierra todas las sondas.

Para efectuar las corridas de velocidad y de muestreo, deben instalarse registros de tamaño apropiado, comunmente medios coples industriales de 76 mm. de diámetro para permitir la introducción del tubo de pitot y de la sonda.

b) Selección del Equipo Muestreador. El equipo para efectuar las mediciones de la emisión del horno de cubilote, puede tener aparte de constituir una serie de aditamentos, un arreglo específico determinado para tomar la muestra y efectuar la medición, lo que en esta parte se propone es un arreglo tal, que permita no excederse de aditamentos innecesarios, sino contar con los esenciales que a la vez nos den una medición acorde a la realidad de la cantidad total de partículas que se emiten durante el proceso.

#### Aparatos y Equipo.

Tren de muestreo de contenga los siguientes elementos ( Fig. 4 ).

1. Boquilla de material adecuado para resistir las condiciones de muestreo como temperatura y corrosión, con puntas y bordes de adelgazamiento gradual y con diámetro de entrada mínimo de 6 mm., para asegurar una toma de muestra lo suficientemente grande.

Generalmente se utilizan boquillas de acero inoxidable ya que tienen alta resistencia a la temperatura y corrosión.

# DIAGRAMA DEL TREN DE MUESTREO

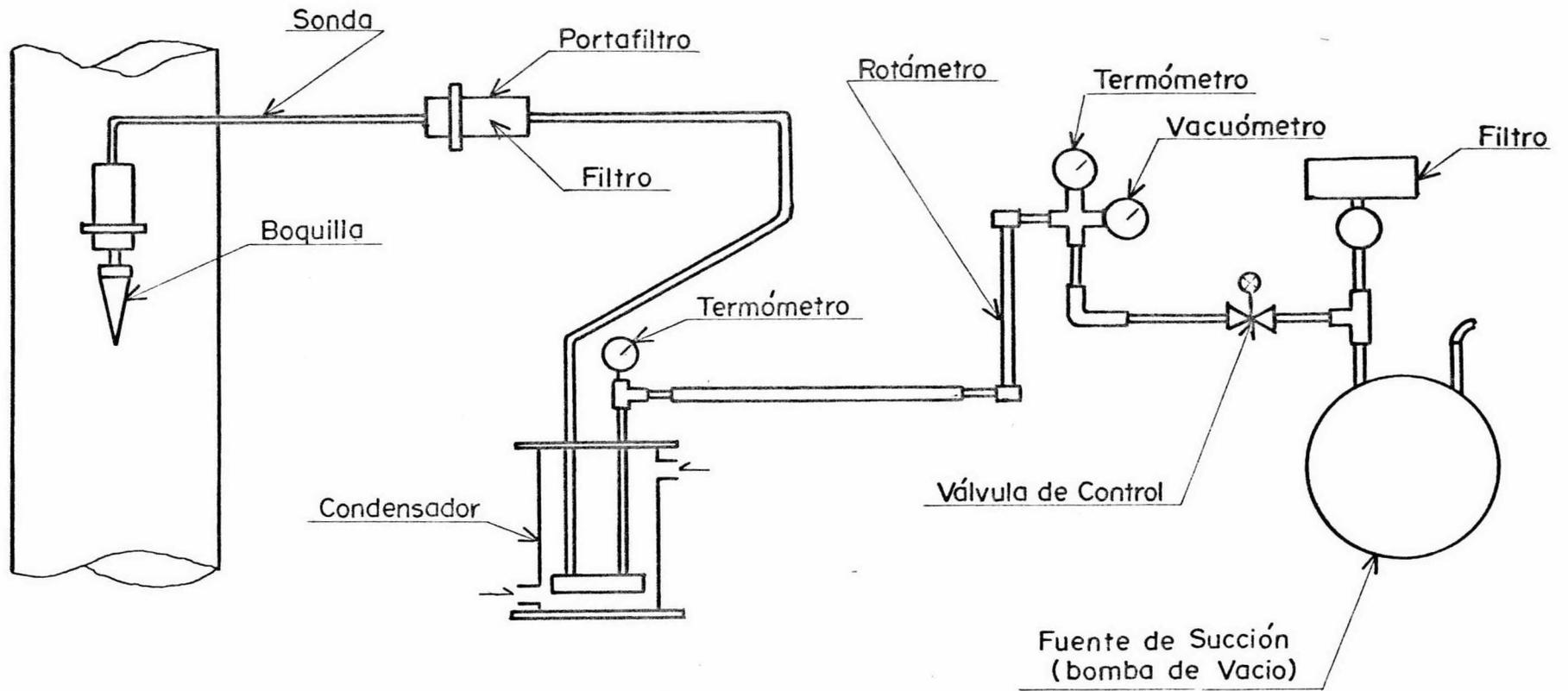


FIGURA # 4

Los diámetros más recomendables a usar son: de 6, 10, 13 y 19 mm.

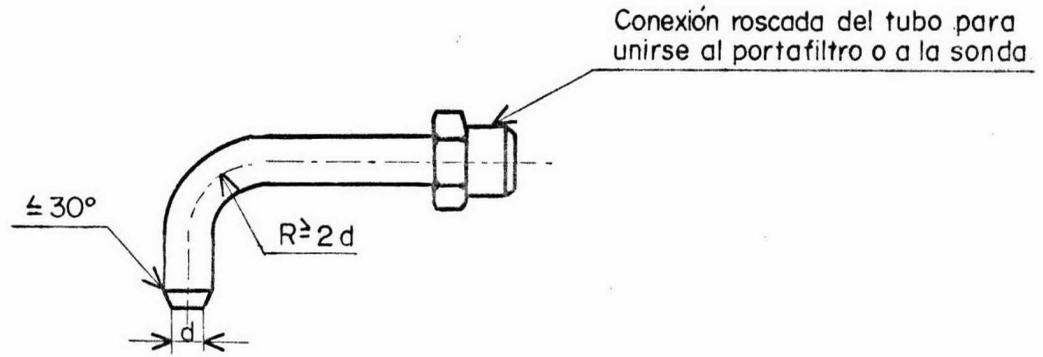
La elección del diámetro está en relación a la capacidad del equipo muestreador.

Los tipos más usuales de boquilla son los siguientes: ( Fig. 5 )

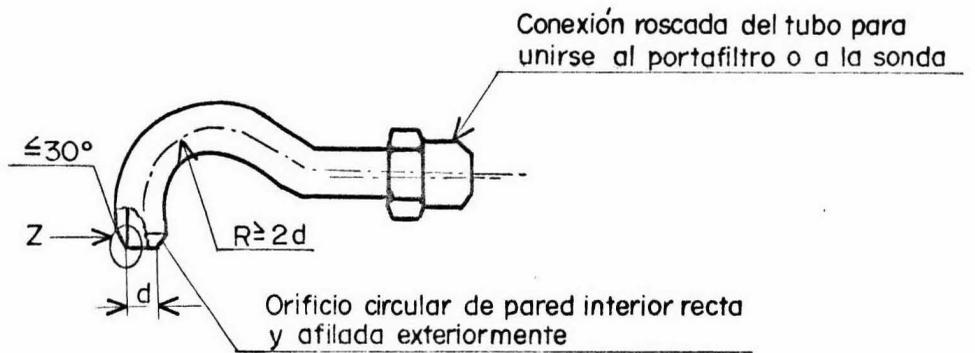
- a) Boquilla tipo codo
- b) Boquilla tipo cuello de ganso
- c) Boquilla recta.

La más recomendable es la boquilla recta, debido a que en ésta se pueden evitar las caídas de presión.

2. Sonda de material adecuado para resistir las condiciones del muestreo, como temperatura y corrosión, se recomienda que la sonda sea del mismo material que la boquilla.
3. Portafiltro. Este deberá de ser hermético para contener el medio filtrante y de acero inoxidable. Se recomienda instalarlo fuera del puerto de muestreo para mayor accesibilidad en el manejo del medio filtrante; en el caso de haber humedad condensable, es conveniente mantener una temperatura de 125°C en la sonda y el portafiltro por medio del calentamiento.
4. Medio Filtrante. Puede utilizarse cualquiera que resulte adecuado

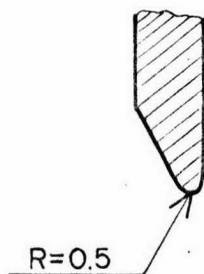


Boquilla tipo Codo

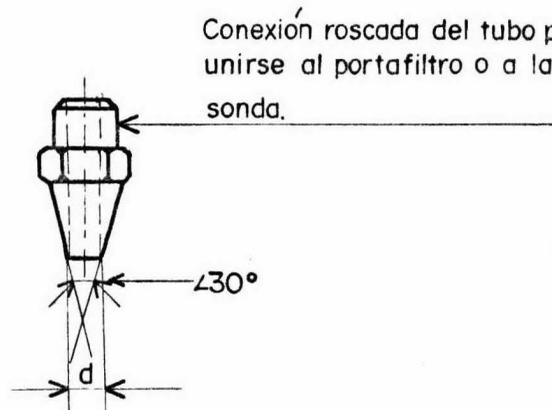


Boquilla tipo Cuello de Ganso

Detalle Z



Boquilla Recta



para las condiciones de la prueba, tales como:

- a) Membranas filtrantes
- b) Cartuchos filtrantes
- c) Bolsas de tela filtrantes.

Se considera satisfactoria una eficiencia del 95% de captación en peso para un filtro determinado.

Se sugiere la Tabla 2 como guía en la selección de un medio filtrante adecuado.

5. Condensador de Humedad. Este elemento es muy recomendable de instalar en el tren de muestreo, inmediatamente después del portafiltro, ya que con frecuencia se presenta humedad a pesar de operarse con altas temperaturas y además por las siguientes razones:
  - a) Para evitar que la humedad se condense en el rotámetro.
  - b) Para evitar que la humedad se condense en la bomba de vacío.
  - c) Medir cuantitativamente la humedad condensada.
6. Termómetro. Se recomienda instalar este elemento a la salida del condensador, para conocer las condiciones de temperatura del gas a la salida del condensador.
7. Medidor de flujo. Para medir el flujo se pueden emplear los siguientes aparatos:

- a) Venturi. Estos se emplean preferentemente cuando se requiere medir en forma constante.
- b) Medidores de orificio. Estos vienen en tamaños de rangos estrechos de medición, requiriéndose así mismo de frecuentes verificaciones y calibraciones además de usarse en combinación con un manómetro diferencial.
- c) Medidores de gas seco. Estos son precisos y de buena capacidad, pero son difíciles de utilizar en muestreos isocinéticos por ser de medición acumulativa.
- d) Rotámetro. Estos son precisos y de buena capacidad, son los más empleados y prácticamente no requieren de calibración.

El medidor de gas elegido deberá incluir un termómetro y vacuómetro de rango adecuado, que permita conocer las condiciones a las que opera el rotámetro ( por lo general los rotámetros están calibrados a condiciones estandar ( 21°C y 760 mm Hg. )

- 8. Válvula de control. Esta es necesaria para regular la inducción del flujo hasta obtener la velocidad de la emisión igual a la velocidad de succión en el tren de muestreo. Las más usuales son:
  - a) Válvula de aguja
  - b) Válvula de diafragma
  - c) Válvula de globo.
- 9. Fuente de succión. Capaz de inducir el volumen de gas requerido

a través del tren de muestreo. De las cuales, las siguientes son las más usuales:

- a) Bomba de vacío
- b) Eyector de vapor, aire o agua
- c) Extractor centrífugo ( ventilador ).

Los eyectores se emplean cuando no se dispone de energía - eléctrica en el lugar de muestreo y en cambio se cuenta con agua, - vapor o aire disponible.

- 10. Conexiones flexibles a prueba de fugas, tales como mangueras de hule o plástico para unir el tren de muestreo; recomendándose el uso de abrazaderas para evitar fugas.
- 11. Balanza analítica.
- 12. Desecador.
- 13. Estufa.
- 14. Cronómetro.
- 15. Probeta graduada.
- 16. Analizador de gases.

c) Procedimiento. Tal como se señaló en el Capítulo anterior, se localiza la estación de prueba, su distribución y se determina el flujo de gases.

Se selecciona la boquilla muestreadora, de preferencia la más grande posible, de acuerdo a lo siguiente:

1. Capacidad de la fuente de succión.
2. Rango de operación del medidor.
3. Concentración de polvo.

Debe seleccionarse un medio filtrante capaz de retener sin obstruirse una muestra de peso suficiente para que no sea afectada por los errores normales de manejo, o los introducidos por las condiciones del muestreo de la siguiente manera:

Se determina el tiempo total de muestreo (  $t$  ), en seg.

Se estima la concentración de partículas (  $C_s$  ) en  $\text{mg}/\text{m}^3$

Se selecciona el flujo de gas muestreado en el medidor en condiciones reales (  $G_m$  ) en  $\text{l}/\text{min}$ . dentro del rango que permita el equipo de muestreo, generalmente de 25 al 50  $\text{l}/\text{min}$ . y el área de la sección transversal de la boquilla (  $A_s$  )  $\text{m}^2$ , de tal forma que con la velocidad promedio medida se cumpla con la ecuación.

$$G_m = 6 \times 10^4 A_s \cdot V$$

donde

$V$  = velocidad del gas en el conducto en condiciones normales (  $\text{m}/\text{seg.}$  )

Se calcula el peso esperado de la muestra (  $s$  ) en gr., según la -

T A B L A I I

MEDIOS FILTRANTES RECOMENDABLES PARA LAS CONDICIONES QUE SE INDICAN

Peso de muestra esperado		Temperaturas del flujo de gases			Presencia de gotas de líquidos		Medio filtrante recomendado	Peso mínimo muestra
100mg	100mg	100°C	100 a 150°C	150 a 425°C	Si	No		
x		x			x		Membrana	( 24 mg )
x			x		x		Membrana	( 56 mg )
x				x	x		Tubo empacado	( 20 mg )
x		x				x	Fibra de vidrio	( 11 mg )
							Membrana	( 24 mg )
x			x			x	Fibra de vidrio	( 11 mg )
							Membrana	( 56 mg )
x				x		x	Fibra de vidrio	( 11 mg )
	x	x			x		Tubo empacado	( 20 mg )
	x		x		x		Tubo empacado	( 20 mg )
	x			x	x		Tubo empacado	( 20 mg )
	x	x					Cartucho de alundum	(100 mg )
	x		x			x	Cartucho de alundum	(100 mg )
	x			x		x	Cartucho de alundum	(100 mg )

TABLA # 2

ecuación:

$$S = 1,67 \times 10^{-8} G_m \cdot t \cdot C_s.$$

Se selecciona el medio filtrante usando la tabla 2, de acuerdo con el peso esperado de la muestra, la temperatura de los gases y la ausencia o presencia de gotas de líquido. Se efectúa un muestreo exploratorio con objeto de determinar aproximadamente el contenido de humedad y la concentración de partículas a fin de confirmar o modificar las condiciones de muestreo en lo referente a diámetro de boquilla, medio filtrante, flujo y tiempo de muestreo.

La velocidad del gas en la boquilla con que se tome la muestra, debe ser igual a la velocidad del gas medida en el punto de muestreo.

Debe calcularse el flujo de gas en el medidor, para cada punto de acuerdo con la ecuación:

$$G_m = 6 \times 10^4 (V_z \cdot A_s) \left( \frac{T}{\bar{T}} \right) \left( \frac{P}{\bar{P}_m} \right) \left[ \frac{Q_m}{(Q_m + Q_c)} \right]$$

$V_z$  = velocidad del gas en el conducto, en el  $n$ -ésimo punto de muestreo ( m/s ).

$\bar{T}$  = temperatura absoluta en el medidor de gas ( OK )

$T$  = temperatura media absoluta del gas en el conducto ( OK ) - -

$$\frac{t_i - t_f}{2}$$

$\bar{P}$  = presión absoluta en el conducto ( mm Hg )

$\bar{P}_m$  = presión absoluta promedio en el medidor ( mm Hg )

$Q_m$  = volumen del gas de muestra que pasa a través del medidor - ( m<sup>3</sup> ), en condiciones reales.

$Q_c$  = volumen del vapor equivalente del agua colectada en el condensador ( m<sup>3</sup> ).

Se anotan los valores del flujo de muestreo obtenidos, en la hoja de registro de datos de muestreo ( Figs. 6 y 7 ).



INFORME DE RESULTADOS

NOMBRE DE LA EMPRESA \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_  
 ESTACION DE PRUEBA \_\_\_\_\_ PRUEBA No. \_\_\_\_\_  
 CONDUCTOR \_\_\_\_\_ HORA INIC. \_\_\_\_\_ HORA FIN. \_\_\_\_\_  
 PROCESO MUESTREADO \_\_\_\_\_

Corrida No.	Medio Filtrante				S en g	Qn en m <sup>3</sup>	Cs en Kg/m <sup>3</sup>	E en Kg/h
	No.	Tipo	Mi	Mf				

Figura 7

El tiempo total de muestreo es el producto del tiempo de muestreo en cada punto por el número de puntos que deben ser muestreados. La duración del muestreo para cualquier punto no debe ser menor de cinco minutos, en condiciones estables. Si las condiciones de muestreo lo permiten, puede usarse un tiempo de muestreo mayor, el tiempo total de muestreo debe ser de una hora como mínimo para lograr mayor confiabilidad en los resultados de la prueba.

Una vez que se ha seleccionado la boquilla muestreadora y el medio filtrante, se procede a montar el tren de muestreo. Deben sellarse las juntas con un material apropiado ( como grafito en polvo o cinta de teflón, siempre que la temperatura de los gases no exceda de 260°C para esta última ), evitando que el sellador se contamine. Se marcan en la sonda las longitudes correspondientes a la posición de la boquilla en los puntos de muestreo dentro del conducto con referencia a un punto fijo exterior.

Se coloca un filtro limpio secado a 100°C durante una hora y pesado con aproximación de 0.0001 g en el portafiltro, asegurándolo firmemente y cuidando de que embone adecuadamente con la empaquetadura, se marca el extremo exterior del muestreador a efecto de indicar la dirección de la punta de la boquilla. Se comprueba la ausencia de fugas en el tren, insertando un tapón en la boquilla ( sin contaminar el filtro ) y se pone en marcha la fuente de succión con la válvula de control cerrada. Se abre la válvula de -

control hasta que el vacuómetro indique su lectura máxima y permanezca estable, si no hay fugas, la aguja del medidor de gasto no debe avanzar, la succión en el medidor debe permanecer constante aún después de que la válvula de control se cierre herméticamente, si hay fugas, éstas deben localizarse y eliminarse.

Después de que se han calculado los flujos de muestreo y se ha montado y comprobado la ausencia de fugas en el tren de muestreo, se procede a ejecutar la prueba.

Se cierra la válvula de control del medidor y se inserta el muestreador en el conducto para muestrear el primer punto de prueba con la boquilla apuntando en el sentido del flujo y se sella el espacio comprendido entre la sonda y el registro. Cuando se muestrean gases calientes, se empieza por el punto transversal más alejado del registro y se mueve el muestreador hacia afuera conforme se avanza en la prueba. Cuando se trabaja cerca de la temperatura de rocío de los gases, deben calentarse todos los elementos del tren de muestreo de la boquilla al portafiltro inclusive.

Al empezar la prueba, se coloca el muestreador con la boquilla orientada en sentido contrario al flujo e inmediatamente se arranca la fuente de succión, se abre la válvula de control hasta obtener el flujo de muestreo calculado y se pone a funcionar el cronómetro.

Se anota la hora y se registra en la hoja de datos del muestreo junto con los datos iniciales de la prueba. Por lo menos cada cinco

minutos durante la prueba deben registrarse el volumen, la presión y la temperatura del medidor, así como la temperatura del condensador.

Una vez que se haya completado el muestreo en un punto, se mueve rápidamente el muestreador al siguientes y se ajusta la succión -- hasta obtener el flujo de muestreo calculado para ese punto tan -- rápido como sea posible. Se repite este procedimiento en cada -- punto hasta terminar la corrida.

Se cierra la válvula de control, se detiene el cronómetro y se pasa el muestreador al siguiente registro, repitiéndose el procedimiento.

Al completarse la prueba, se cierra la válvula de control se detiene la fuente de succión y se orienta la boquilla muestreadora en el sentido del flujo registrándose el volumen final del gas y la hora.

Se saca cuidadosamente el muestreador, asegurándose de que la boquilla no recoja polvo de la parte interior del registro. En todo momento debe mantenerse el muestreador con la boquilla hacia -- arriba para evitar pérdidas de muestra. Antes de extraer el filtro con la muestra, se limpia con un cepillo la parte exterior del muestreador y el portafiltro; el material adherido en su interior debe -- hacerse llegar hasta el filtro. Se transfiere el filtro con la muestra a un recipiente adecuado, de ser posible se realiza esta operación en el laboratorio.

Se drenan los condensados del tren de muestreo hacia el depósito del condensador arrancando la fuente de succión por unos minutos. Se mide el volumen de condensados en una probeta graduada y se anota en la hoja de datos.

Se pesa el filtro con la muestra en la balanza electrónica, después de secarse a  $100^{\circ}\text{C}$ , durante una hora.

- d) Cálculos.- Se determina el peso total de partículas colectadas - ( s ), por diferencia entre el peso original del filtro con la muestra obtenida.

$$S = M_f - M_i$$

$M_f$  = peso final del medio filtrante ( en gr. )

$M_i$  = peso inicial del medio filtrante ( en gr. )

Se calcula el volumen de vapor (  $Q_a$  ), de acuerdo con la ecuación:

$$Q_a = 5.0 \times 10^{-1} \text{ Gm} \cdot t$$

Se calcula el volumen del gas de muestra seco que pasa a través del medidor en condiciones normales (  $Q_n$  ) mediante la ecuación:

$$Q_n = ( Q_m - Q_a ) \cdot f \cdot ( 298/T ) ( \bar{P}_m/760 )$$

$Q_m$  = Volumen del gas de muestra que pasa a través del medidor en condiciones reales (  $\text{m}^3$  ).

$T$  = Temperatura absoluta en el medidor de gas ( OK )

$\bar{P}_m$  = Presión absoluta promedio en el medidor ( mm Hg. )

$Q_a$  = Volumen del vapor de agua remanente en la muestra en condiciones normales (  $\text{m}^3$  ).

Se calcula la concentración promedio de partículas (  $C_s$  ) en el gas:

$$C_s = S \cdot 10^3 / Q_n$$

Se calcula la emisión de partículas ( E ) de acuerdo a:

$$E = 3.6 \times 10^{-3} C_s \cdot F_n$$

$F_n$  = flujo volumétrico del gas en el conducto en condiciones normales (  $m^3/S$  ).

$E$  = emisión de partículas que fluye en el conducto en la unidad de tiempo en condiciones normales (  $Kg/h$  ).

En caso de efectuarse varios muestreos en una prueba, los resultados deben promediarse en forma balanceada.

## CAPITULO V

### NATURALEZA DE LAS EMISIONES

#### a) Humos

Se producen por la combustión de diferentes sustancias. Los humos se originan por una mala operación, mantenimiento, diseño, instalación, obsolescencia y exceso de carga de los equipos de combustión.

El humo negro es una pérdida económica, además de ser una molestia.

Cada combustible requiere de un balance de muchos factores económicos y técnicos para lograr las mejores condiciones de combustión.

Los principios más importantes para una buena combustión sin humo y cualquier tipo de combustible son:

Relación apropiada de aire - combustible.

Mezcla adecuada de aire y combustible en el momento apropiado.

Temperaturas de ignición suficientes para los combustibles.

Una altura adecuada de la rejilla sobre el hogar.

La mayoría de la energía producida en el pasado, ha sido a - - partir de combustibles sólidos, básicamente el carbón.

El hollín es carbón en partículas producto de una combustión incompleta. Este es uno de los más comunes contaminantes sólidos. Debido a que éste se agrupa en grandes cadenas, tiene una superficie muy amplia en proporción a su peso, siendo ésta muy activa y con gran capacidad de atracción de sustancias químicas del aire que la rodea.

b) Polvos

La industrialización ha incrementado el contenido de polvo sólido en la atmósfera. A continuación se mencionarán las fuentes principales productoras de polvo, así como las operaciones que la producen en la fundición:

combustión	quemado de combustibles
manejo de sólidos y procesos	carga y descarga de materia prima.

El polvo y el humo están siempre presentes en los gases procedentes de la operación de fusión y éstos se clasifican de acuerdo al tamaño y forma en que se generan. Los polvos están formados por sólidos orgánicos o inorgánicos, sobre los que se emplea una fuerza mecánica como la trituración o el molido. Los tamaños de las partículas van desde el microscópico hasta el sub-microscópico, sin embargo, las partículas de 50 micras se depositan rápidamente y son de menor importancia que las más pequeñas, ya que, aunque pueden ser transportados por el aire por grandes extensiones, tienden a caer más fácilmente que una de menor tamaño, las que, por lo general, perma-

necen flotando formando nieblas.

Los humos se generan de la combustión de materiales carbonosos los cuales aumentan cuando la combustión es incompleta, el tamaño de partícula de los humos es en términos generales menor a 0.5 micras.

Así vemos que las emisiones están formadas por partículas - procedentes de la oxidación, sublimación o condensación y que los vapores con tamaño menor a una micra pueden flocular y formar partículas más grandes.

La mayor proporción de las emisiones la constituye el material fino que se encuentra presente en cualquier carga como lo es el óxido de hierro que es el principal componente, este óxido se forma sobre toda la superficie de hierro expuesta al ambiente en forma de una capa suelta y suave que lo cubre. Cuando se maneja la chatarra y ésta se carga al horno, la capa de óxido se quiebra y se separa del metal, parte de ella se reduce a partículas finas.

Otra fuente de partícula fina es el polvillo de coque, el cual es un material poroso con resistencia mecánica limitada, que facilita su rompimiento cada vez que se maneja, debido a su porosidad y baja densidad, hay partículas relativamente grandes que son arrastradas por el tiro de la chimenea, constituyendo también este material parte de las emisiones de tamaño de partícula grueso.

Al estudiarse dos tipos de horno de cubilote, uno de carga manual y otro de carga mecánica y de tamaño diferente, las composiciones en las emisiones dieron los siguientes resultados:

- Condiciones de Operación -

	<u>Tipo A</u>	<u>Tipo B</u>
Diámetro de la zona de fusión	1.20 m.	94 cm.
Altura ( placa del fondo - parte superior )	12.60 m.	9.20 m.
Altura ( placa del fondo - puerta de carga )	6.30 m.	4.90 m.
Método de carga	mecánico	manual
Control de aire por peso	sí	sí
Tipo de ventilador	positivo	positivo
Altura de la cama de coque	1.8 m.	1.4 m.
Método de sangrado	intermitente	intermitente
Toneladas fundidas ( total )	14.35	5.2
Tiempo total de soplado	2.30 hr.	1.20 hr.
Peso procesado ( Kg/h. )	6,120	4,206
Temperatura del hierro fundido	1115 - 1538° C	1482 - 1560° C

- Resultado del muestreo y pruebas de emisiones -

Período de encendido

Volumen de emisiones del cubilote	461 m <sup>3</sup> /min.	84.9 m <sup>3</sup> /min.
Velocidad de las emisiones	3.84 m/s.	1.74 m/s.
Análisis de los gases ( Orsat ) %		
CO <sub>2</sub>	.3 - .8	1.0 - 10.3
O <sub>2</sub>	19.3 - 20.3	10.1 - 19.2
CO	.0	.0

	<u>Tipo A</u>	<u>Tipo B</u>
Partículas sólidas g/m <sup>3</sup>	0.3177	0.0494
aceites condensables, grasas, etc. g/m <sup>3</sup>	0.070	0.0007
<u>Período de fusión</u>		
Volumen de las emisiones m <sup>3</sup> /min.	581	142
Velocidad de las emisiones m/seg.	12.7	9.7
Análisis de los gases ( Orsat ) %		
CO <sub>2</sub>	2.0 - 5.4	10.0 - 13.4
O <sub>2</sub>	14.4 - 18.5	6.5 - 10.1
CO	0	0
Partículas sólidas g/m <sup>3</sup>	39.18	56.62
Aceites condensables, grasas, etc. g/m <sup>3</sup>	0.671	0.282
Volátiles g/m <sup>3</sup>	despreciable	despreciable
Oxido de Zinc g/m <sup>3</sup>	0.282	0.289
Plomo g/m <sup>3</sup>	0.212	0.353
Compuestos de azufre ( SO <sub>2</sub> , % en vol. )		
Análisis aproximado de las emisiones		
Volátiles %	6.77	6.70
Carbón fijo %	11.93	3.04
Cenizas %	81.30	90.26
Contenido de azufre de la cama de - coque		
% en peso	0.630	0.520
Contenido de azufre en la carga, % en peso	0.550	0.520

	<u>Tipo A</u>	<u>Tipo B</u>
Contenido de azufre del hierro colado, % en peso	0.143	0.130
Volumen de las emisiones en las condiciones de la chimenea ( m <sup>3</sup> /min.)	1841	573
Temperatura promedio de la chimenea, °C	642	900
Partículas sólidas en las condiciones de la chimenea ( g/m <sup>3</sup> )	12.53	23.11

Las emisiones de los cubilotes que han sido estudiados y analizados contuvieron diversos porcentajes de carbono, silicio, hierro, sodio, óxido de hierro, manganeso, calcio, silicato, azufre y otros sólidos metálicos y no metálicos. Produjeron entre 1800 y 5155 metros cúbicos estándar de gases, que contenían entre 4.5 y 22.7 Kg. ( siendo el promedio entre 6.35 y 13.1 Kg. ) de sólidos por tonelada de materiales cargados. El tamaño de las partículas de estos sólidos varían desde el sub-microscópico hasta 1000 micras. Los tamaños de las emisiones totales, sobre una base de porcentaje, fueron como sigue:

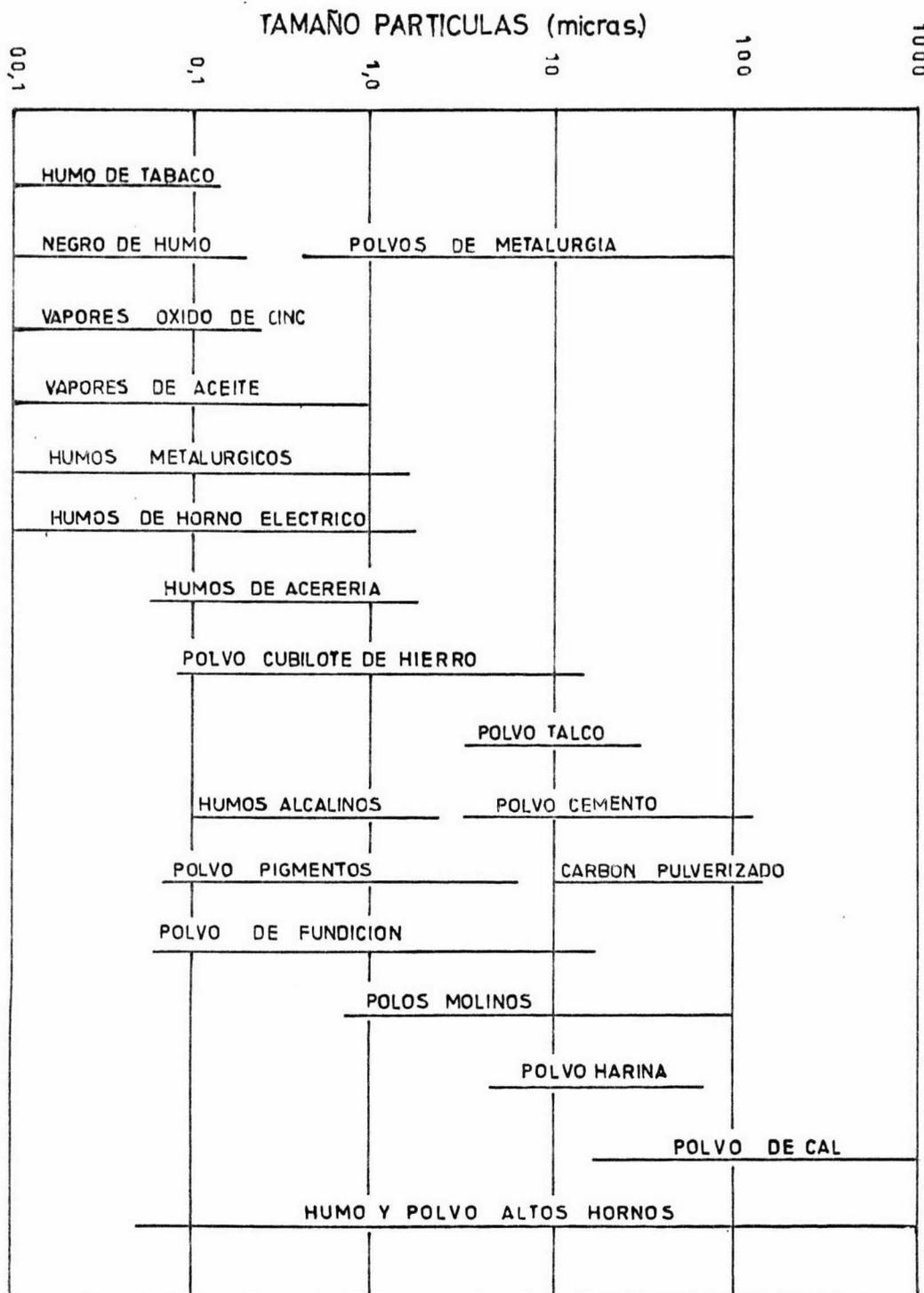
Porcentaje	Tamaño en $\mu$
Del 45% al 75 %	44
15% al 25 %	20 - 44
1%al 15 %	20

La naturaleza y cantidad de emisiones, lo mismo que la dificultad para controlarlas, varía ampliamente dependiendo del metal utilizado y de los materiales de carga en el mismo y de otros facto-

res como lo son la altura de la chimenea, la temperatura de salida y la velocidad de los gases en la chimenea, la velocidad del viento, la temperatura del aire ambiente y la presión atmosférica.

Cuando existe un foco contaminante que degrada la calidad del aire en una localidad determinada, hay una serie de recomendaciones para solucionar el problema, las cuales pueden ser: aumentar la altura de la chimenea, reducir su diámetro, aumentar la temperatura del gas o proceder a la instalación de un equipo de control que reduzca las emisiones hasta un nivel tolerable.

Las recomendaciones anteriores dependen de otras consideraciones, como por ejemplo: el sitio donde se localice dicho foco contaminante con respecto a si es una zona urbana o sub-urbana, si existen corrientes de aire que lleven lejos del foco sus deshechos, etc., tratando siempre de evitar perjuicios en la salud de la comunidad.



## TAMAÑO DE LAS PARTICULAS DE POLVOS, HUMOS Y VAPORES INDUSTRIALES

FIGURA # 8

## CAPITULO VI

## METODOS DE CONTROL

Los aparatos empleados en el tratamiento y control de humos, gases y vapores con la subsecuente captación de polvo, puede clasificarse en cinco grandes grupos:

1. Colectores mecánicos que utilizan los efectos de gravedad, inercia y fuerza centrífuga.

Ejemplos: Cámara de sedimentación, ciclones y multiciclones.

2. Colectores por filtración a través de capa porosa.

Ejemplos: Separadores de mangas o tubos, separadores de bolsas, filtros esponja mecánica, etc.

3. Colectores húmedos, que utilizan el agua o cualquier otro líquido para precipitar o neutralizar contaminantes.

Ejemplos: Impactores Húmedos.

4. Colectores electrostáticos que emplean la electricidad de alta tensión para precipitar el polvo.

Ejemplos: Cottrell de tubos y separador Siemens de placa.

5. Colectores térmicos, que emplean las técnicas de la combustión para oxidar los gases.

Ejemplos: Aparatos por combustión catalítica y combustión directa.

La colección de polvo en la industria, comprende dos fases:

1. La colección del gas contaminado en su lugar de origen y su transporte debidamente canalizado a un colector.
2. La depuración de dicho gas mediante los aparatos adecuados y su lanzamiento a la atmósfera, convenientemente depurado.

### Cámara de Sedimentación.

Este equipo es el más antiguo y primario de los colectores secos, empleados en la industria. El principio de su funcionamiento se basa en la súbita reducción de la velocidad de la corriente del gas o aire contaminado, al desembocar en una amplia cámara, con lo que se consigue una precipitación de las partículas más pesadas por gravedad, en la práctica sólo se depositan en forma masiva partículas superiores a las 150 (micras), ya que para conseguir la precipitación de partículas más pequeñas, sería necesario disponer de cámaras de grandes proporciones.

Su rendimiento viene expresado por la fórmula:

$$\eta = \frac{U_t B_s L_s}{Q} \quad \text{para } \eta \leq 1$$

donde

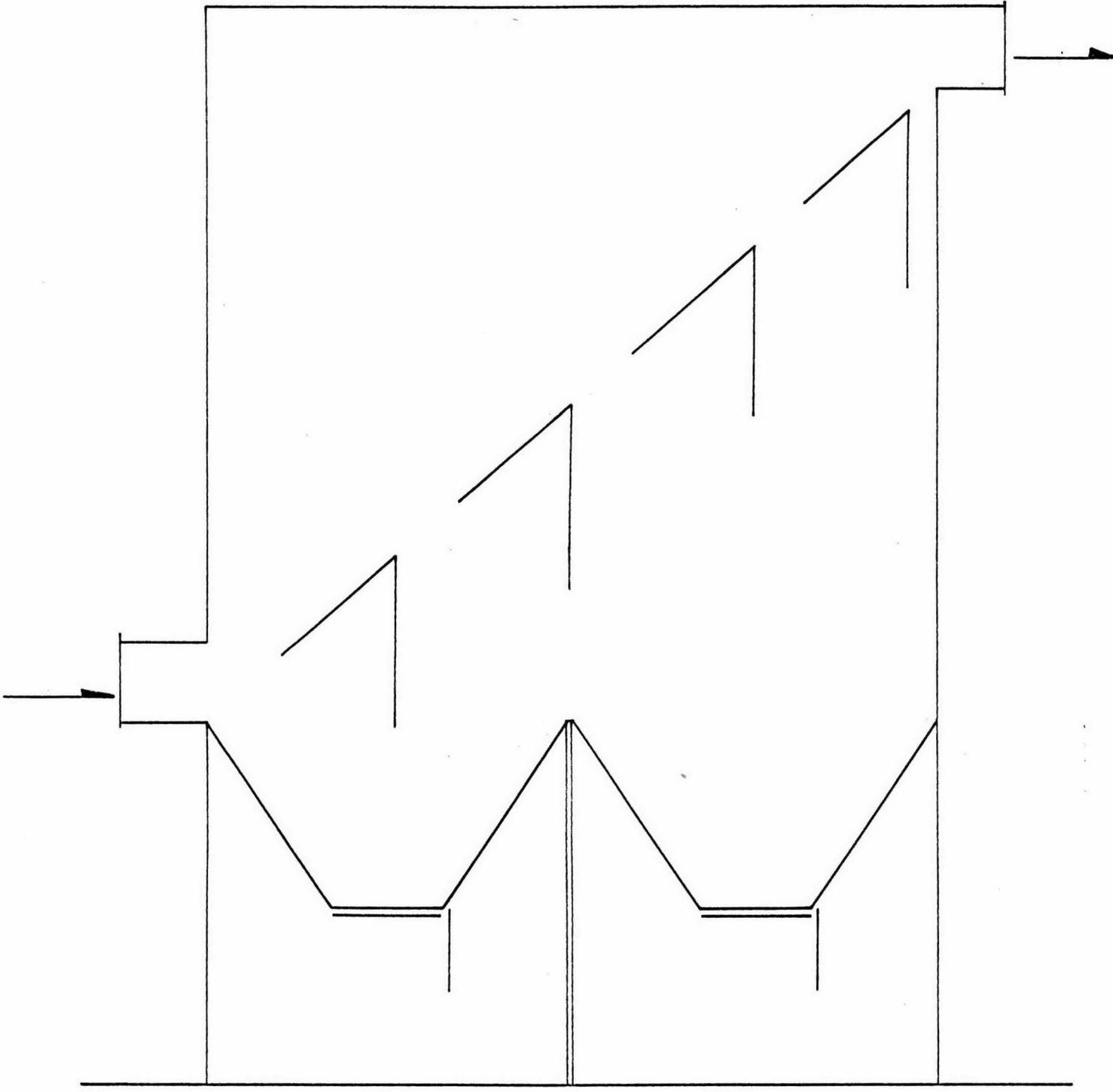
$U_t$  = velocidad final de sedimentación por gravedad en m/seg.

$B_s$  = anchura de la cámara en metros.

$L_s$  = longitud de la cámara en metros, en sentido direccional del gas.

$Q$  = caudal en m<sup>3</sup>/seg.

La velocidad del gas debe ser igual o inferior a 3 m/seg.



CAMARA DE SEDIMENTACION

FIGURA # 9

Las cámaras tipo Howard ( fig. 10 ), disponen de una serie de placas horizontales que permiten tener una cámara de múltiples canales, lo que hace aumentar su eficiencia, aunque es de señalarse que este aparato es de difícil limpieza y tiende a deformarse cuando se trabaja con gases a altas temperaturas.

Estas cámaras se utilizan ya poco y solamente como elementos preseparadores de las partículas más gruesas, antes de llevar el gas a la definitiva separación en otro tipo de aparatos más eficientes.

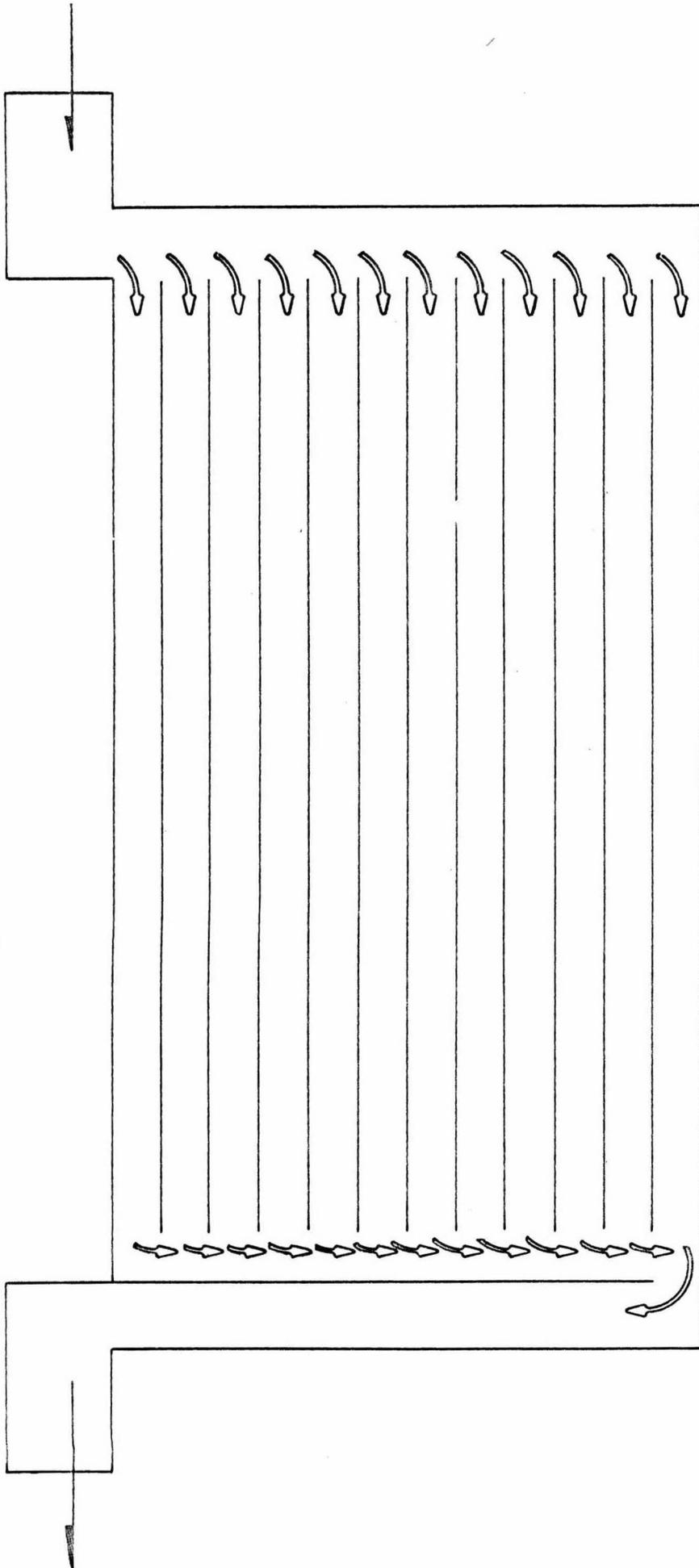
#### Colectores por choque.

Son cámaras o aparatos a los que se les ha colocado dispositivos para obligar a la corriente de gas a bruscos cambios de dirección, con lo que las partículas sólidas en suspensión en el gas, en virtud de su mayor inercia, tienden a depositarse en la superficie del cuerpo con el que chocan.

Estos colectores tienen una pérdida de carga más elevada que la de los colectores de gravedad y su uso queda restringido a cuando se trate de separar partículas de diámetros superiores a las 50 micras.

#### Refrigerantes de gases.

Son dispositivos que aunque no se consideran en sí como aparatos colectores, de hecho actúan como tales, ya que al mismo tiempo que obligan a la corriente del gas a cambios bruscos de dirección, tam



CAMARA HOWARD.

FIGURA # 10

bién la enfrían, con lo que se consigue la precipitación de las partículas más gruesas así como la condensación de los vapores especialmente los metálicos.

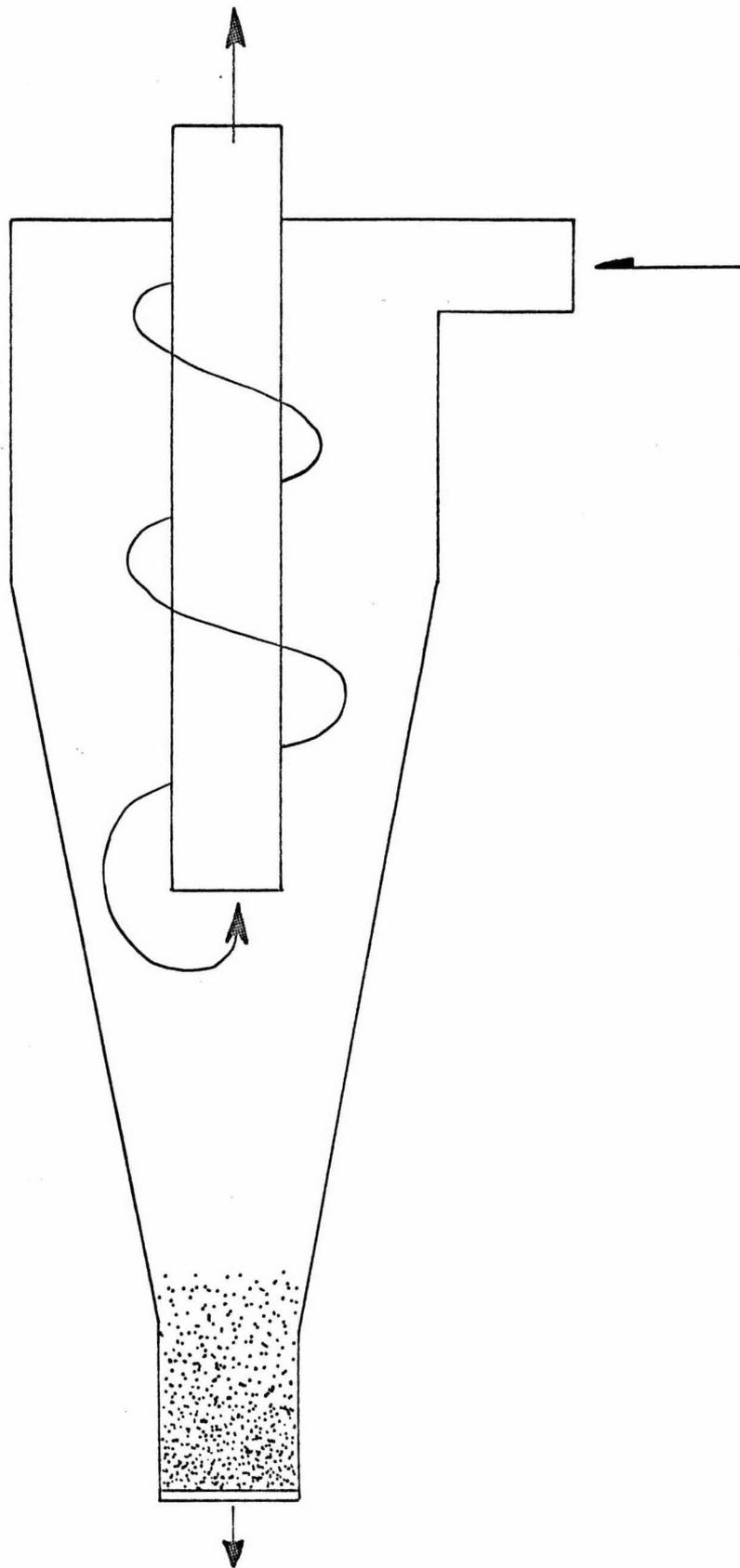
Se emplean como preseparadores y enfriadores de gases, especialmente cuando el aparato depurador final no admite temperaturas superiores a  $100^{\circ}\text{C}$ , como es el caso de separadores cuyos elementos filtrantes se componen de determinadas fibras textiles.

### Colectores centrífugos.

Bajo esta denominación se incluyen principalmente, a los ciclones y multicyclones, comprendiendo una variada gama de tipos. Estos colectores son los más comunmente usados y se construyen en diferentes tipos y dimensiones, para caudales de trabajo que van desde 500 hasta 5000 metros cúbicos por hora. Su principio de trabajo se basa en que los gases o humos cargados de polvo entran tangencialmente y a una determinada velocidad a una cámara cónica o cilíndrica y salen limpios por el conducto central ( fig. 11 ). Las partículas de polvo caen al fondo de la tolva, de donde son evacuadas.

Utilizan el principio físico de la centrifugación basado en la resultante de dos fuerzas.

La velocidad de entrada en los ciclones varía entre 5/25 metros por segundo, aunque suelen diseñarse para una velocidad de entrada -



ESQUEMA FUNCIONAMIENTO DE CICLON

de 15 m/seg.

Un factor muy importante en el diseño de un ciclón es la determinación de su diámetro. Trabajando a una caída de presión constante, el aparato de menos diámetro es el de mayor rendimiento aunque es el de menor capacidad de trabajo, por lo que deben utilizarse con otros ciclones idénticos puestos en paralelo.

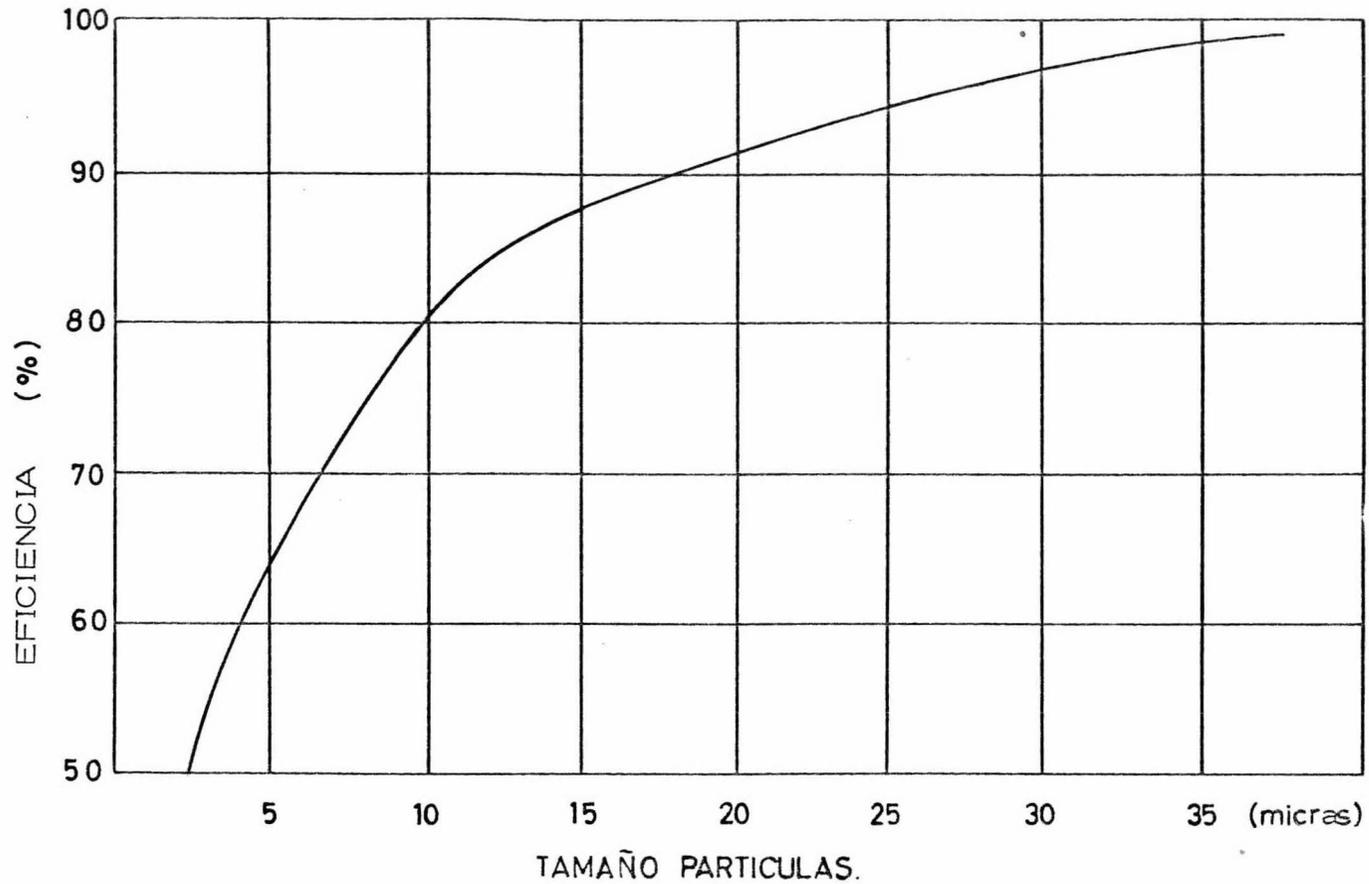
En general, se aumenta el rendimiento del ciclón disminuyendo su diámetro y aumentando la velocidad de entrada del gas. Actualmente existe la tendencia de construir los ciclones con diámetros muy reducidos debido a una mayor eficacia de captación de partículas.

Se utilizan con buen rendimiento cuando se trata de separar polvo cuyos diámetros de partícula sean superiores a 20 micras.

La gráfica Núm. 1 muestra el rendimiento de un ciclón turbo-decantador, con relación al tamaño de las partículas a captar.

Para aumentar el rendimiento de estos separadores centrífugos se acostumbra colocar en la salida unas mangas textiles que sirven como preseparadores a un filtro de mangas, con lo que su rendimiento de captación es superior al 99%.

El uso de ciclones reporta una serie de ventajas, tales como pocas descomposturas al no tener partes móviles, bajo costo, facilidad



SEPARACION EN CURVO-CICLON, SEGUN TAMAÑO DE LAS PARTICULAS

GRAFICA # 1

de limpieza y la posibilidad de acoplarlos en serie o en paralelo.

### Multiciclones.

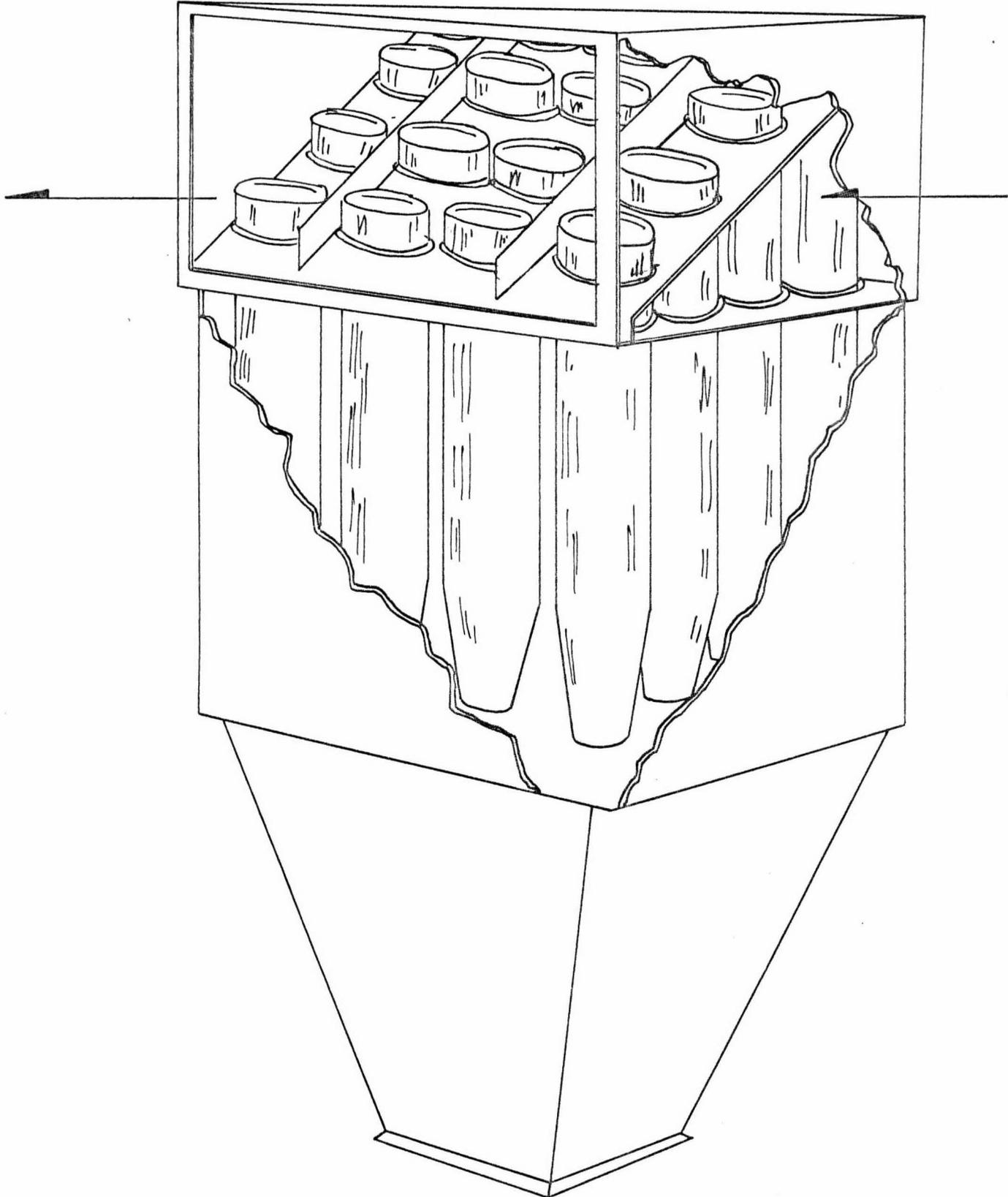
La colocación de un cierto número de ciclones en paralelo, - permite aumentar su rendimiento al colocar aparatos de menor diámetro, cuya disminución en su capacidad de trabajo queda compensada al colocar un mayor número de ciclones.

Derivados de este hecho surgieron los aparatos multiciclónicos, de diferentes tipos ( fig. 12 ), pero que están contruidos básicamente por una serie de tubos o pequeños ciclones puestos en paralelo y formando un conjunto compacto.

Este acoplamiento de ciclones se montan en posición vertical con una entrada tangencial del gas a depurar, que se reparte uniformemente en cada uno de los pequeños ciclones. El rendimiento de estos tipos de aparatos es superior al del ciclón sencillo.

### Separadores por capa porosa.

En este tipo de depuradores, la corriente gaseosa atraviesa - una capa porosa más o menos espesa en la cual se deposita la mayor parte del polvo que la corriente lleva en suspensión. De aquí cabe diferenciar entre filtros y separadores, de acuerdo con la terminología empleada en algunos países y que denominan filtro a aquellos elementos empleados en la captación de pequeñas cantidades de polvo, mien-



MULTICICLON

FIGURA # 12

tras que se considera como un separador a los aparatos, que además de captar mayores cantidades de polvo, permite también su recuperación.

Generalmente los filtros se utilizan en la depuración del aire atmosférico, con concentraciones de polvo inferiores a 0.010 gramos por metro cúbico, mientras que los separadores se emplean en la captación y recuperación de cantidades superiores, y procedentes de operaciones industriales.

### Filtros.

Los filtros para aire se pueden clasificar en tres clases:

- a) Filtros recambiables
- b) Filtros regenerables
- c) Filtros autolimpiantes

Al primer grupo pertenecen los filtros hechos a base de celulosa, papel u otro material parecido, los cuales una vez saturados de polvo o sucios, pueden ser fácilmente sustituidos por otros nuevos.

Al tipo regenerable pertenecen los filtros de esponja metálica y los fabricados a base de fibras sintéticas, tales como poliamidas. Los filtros metálicos van impregnados con alguna sustancia viscosa para facilitar la adherencia del polvo. Los dos actúan por el principio de pérdida de velocidad de la corriente gaseosa a través de un laberinto

to formado por hilos metálicos o fibras de tejido sintético. Ambos pueden ser regenerados mediante un lavado con agua templada a la que se le ha añadido un detergente de acción suave o también mediante limpieza con aire comprimido. Son los filtros más aconsejables, ya que resultan más económicos, resisten bien los elementos atmosféricos, son fáciles de regenerar y con ellos se pueden formar páneles para tratar volúmenes grandes de emisiones contaminadas.

El tercer grupo, llamado autolimpiantes, son de funcionamiento automático y forman un rollo que al irse desenrollando lentamente, presentan continuamente al aire una cara nueva al tiempo que, al enrollarse de nuevo, se va autolimpiando mediante algún dispositivo de raspado.

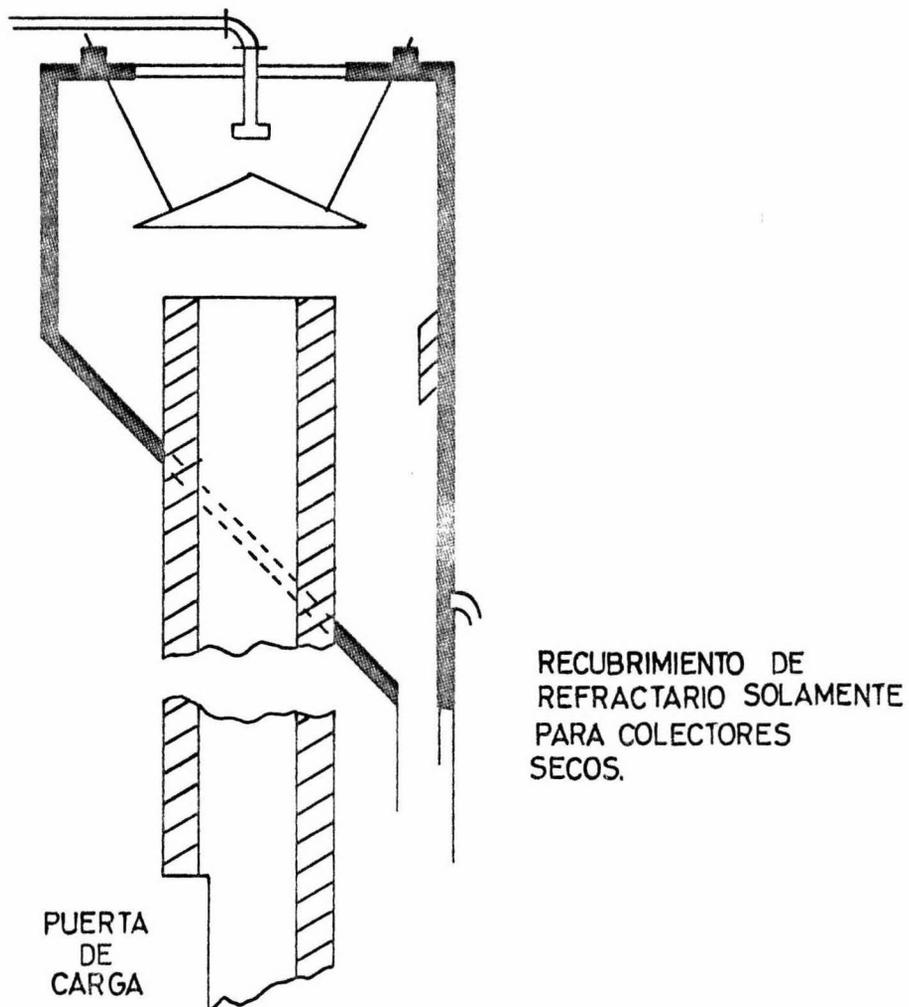
#### Capuchón Húmedo.

Este tipo de filtrado es a través de una cortina de agua y es mejor conocido en su término en inglés como WET CAP, los gases del cubilote pasan por una cortina de agua que elimina parte del bióxido de azufre ( $SO_2$ ), en los gases de combustión. Esta agua que por lo general se recircula, adquiere rápidamente una acidez considerable y corroee todas las partes metálicas en el sistema de recolección de polvos por lo cual se recomienda neutralizar el agua que se recircula con un PH neutro o alcalino para neutralizar el ácido obtenido de la solución del  $SO_2$ , para esto se utiliza comunmente carbonato de sodio.

El agua en un recolector húmedo se recircula continuamente a

través de un tanque de sedimentación para recoger los polvos. Los polvos en el tanque de sedimentación pueden eliminarse manualmente, recolectando los lodos que se depositan en el fondo.

Este tipo de recolector húmedo puede operar satisfactoriamente en el tipo de cubilotes utilizados en nuestro país, sin embargo es necesario cerciorarse que los materiales que se utilizan en la fabricación del colector ( fig. 13 ), son de buena calidad para así obtener una vida útil prolongada y evitar reparaciones.



## COLECTOR DE POLVOS PARA USO EN CUBILOTES DE CHIMENEA CILINDRICA

FIGURA # 13

## CAPITULO VII

### CONCLUSIONES

En el Distrito Federal y Zona Metropolitana que lo circunda, existen aproximadamente 400 fundiciones, de las registradas en las diferentes cámaras industriales, de las cuales el 90% son industrias pequeñas cuyos capitales son menores a los cien mil pesos; de estas empresas, sólo un 7% han hecho instalaciones de equipo de control de contaminantes, los cuales no fueron diseñados por ninguna firma de ingeniería, sino que es equipo rudimentario que fue diseñado por el mismo fundidor y que tiene una eficiencia de captación muy baja.

En nuestro País existe el equipo adecuado para el control de las emisiones de humos y polvos contaminantes originados por la industria de la fundición, pero resulta que este equipo no está a la altura de la capacidad económica de la pequeña industria y parte de la mediana, lo cual implica la creación de nueva tecnología en esta rama, para poder contar con equipos que con una buena eficiencia, estén al alcance del fundidor e incorporarlos en sus operaciones, pero no es el momento de estar esperando hasta que surja el equipo apropiado, es necesario ya empezar a controlar esas emisiones para no seguir envenenando el aire que respiramos, es por esto que es de ineludible obligación el instalar equipos anticontaminantes aunque éstos se instalen por etapas

que en fases posteriores sean mejorados hasta lograr el completo control y abatimiento de contaminantes.

El industrial de esta rama debe de tomar más conciencia en lo que este problema implica en nuestra salud, para que ante esta situación, se decida a cooperar con las autoridades encargadas de la aplicación de la Ley y sus reglamentos en una forma equilibrada entre Gobierno e industrias, ya que por ser el factor económico determinante, es imposible terminar con la contaminación en un plazo relativamente corto, ya que como en México la Industria Nacional está empezando a surgir y la gran mayoría es pequeña como se señaló anteriormente, debe solucionarse este problema dándose plazos en los cuales la industria pueda ir cumpliendo sin fuertes presiones para que a la vez, nuestras empresas sigan creciendo y desarrollándose y evitar así el cierre de industrias o el provocar un freno en su desarrollo, que causaría un incremento en el desempleo por la falta de creación de fuentes de trabajo, lo que afectaría a la Economía Nacional.

Nuestro País, en muy buena época, se avocó al problema de la contaminación y señalamos esto porque no esperó a que México fuera una ciudad tan contaminada como por citar un ejemplo, la Ciudad de Los Angeles, California, aunque tampoco se avocó desde un principio porque además de que la industria se encontraba en esa época con otro tipo de problemas, no había en nuestro País técnicos especializados en la materia que pudieran resolver a la industria sus problemas de con-

taminación.

Los esfuerzos realizados por el sector empresarial han venido rindiendo sus frutos en este aspecto, ya que se ha logrado reducir la contaminación atmosférica en porcentajes que, aunque no son muy razonables al presente momento, representa en sí mismos un avance en la lucha por un mejor ambiente; la tarea no es fácil, ya que representa grandes sacrificios por parte de los industriales.

Por otra parte, el Gobierno Mexicano ha creado incentivos fiscales para las industrias que instalen equipos anticontaminantes, aceptando una depreciación acelerada de los equipos instalados de un 35% antes de impuesto, para que dichos equipos de control se " paguen " en 3 años y no en 10 como sucede con el equipo de producción, ya que el equipo anticontaminante viene a representar un costo y no una inversión dentro de la industria, ya que es un equipo que definitivamente no representará la más mínima producción dentro de la planta.

Cabe mencionar también los incentivos que ha creado nuestro Gobierno con el fin de lograr una descentralización industrial para contar con una adecuada y técnica distribución de los planteles, creando parques industriales.

La lucha contra la contaminación representa y representará - siempre un costo, pues el que contamine el aire, de hecho perjudica a toda la comunidad y esta contaminación indiscutiblemente representa

un peligro para todos nosotros y para las futuras generaciones a quienes debemos darles un ambiente sano y no dejar a ellas el problema; llegamos a la etapa del planeta en que el uso del medio ambiente ya - representa un costo que puede ser alto, medio o bajo, pero siempre un costo que hay que equilibrar para que este uso no implique perjuicios a la economía de las industrias.

## BIBLIOGRAFIA

1. Foundry Air Pollution Control Manual,  
American Foundrymen's Society,  
Des Plaines, Ill. 2a. Edición, 1967.
2. The Cupola and Its Operation,  
American Foundrymen's Society, Inc.  
Chicago. 2a. Edición, 1967.
3. Legislación para Prevenir y Controlar la Contaminación  
Ambiental,  
Secretaría de Salubridad y Asistencia,  
México, 1973.
4. Memorias de la Primera Reunión Nacional Sobre Problem  
as de Contaminación Ambiental,  
CANACINTRA, Secretaría de Salubridad y Asistencia,  
México, enero de 1973.
5. Norma Oficial Mexicana que Determina la Emisión de -  
Partículas Sólidas Contenidas en los Gases que se Descarn  
gan por un Conducto,  
D.G.N. - AA - 10 - 1974.
6. Norma Oficial Mexicana, " Determinación del Flujo de  
Gases en un Conducto por Medio del Tubo de Pitot ",  
D.G.N. - AA - 9 - 1973.
7. La Lucha Contra la Contaminación Industrial del Aire,  
José T. Olea.
8. Emisiones y Control de Emisiones de Contaminantes de -  
la Industria de la Fundición,  
W. B. Huelsen.

9. La Industria de la Fundición en México,  
Tesis. UNAM - CNIT - 1971.

ARTICULOS DEL SERVICIO DE INFORMACION TECNICA  
DEL CONACYT

10. Forecasting the Cupola's Future,  
Wallace D. Huskonen,  
Foundry, 1968 - M740434.
11. Gray Iron Cleaning  
Christopher Fender,  
Modern Casting - 1974 - M740821.
12. Monitoring Plant Air Pollution  
B. B. Crocker,  
Chemical Eng. Progress - 1970 - C740747.
13. In Defense of the Wet Cap,  
J.S. Deacon,  
Modern Casting - 1973 - X740101.
14. Emissions Control System is Based on Impingement,  
Foundry, Sept. 1973 - M740356.
15. Le Cubilot Mixte Coke - GAZ,  
J. Lucien Loubert, Industries et Techniques, X731058.
16. Utilización del Oxígeno en el Cubilote,  
Luis de Dompablo,  
Colada - agosto 1971 - X731058.