



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica

25
71

EQUIPO DE CONTROL DE EMISIONES DE
POLVO EN LA INDUSTRIA CEMENTERA

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de
I N G E N I E R O C I V I L
P r e s e n t a

GALVAN ORTIZ GERARDO ROBERTO



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

I N D I C E

	Págs.
INTRODUCCION	1
CAPITULO 1. ANTECEDENTES	2
- Fuentes de Contaminación	
- La Industria del Cemento en México	
- Leyes y Reglamentos	
CAPITULO 2. DESCRIPCION DEL PROCESO DE ELABORACION DEL CEMENTO.	13
2.1 Generalidades	13
2.2 Proceso de fabricación	17
2.2.1 Proceso seco	19
2.3 Grado de finura	26
2.4 Puntos de Emisión	26
CAPITULO 3. DISEÑO DEL SISTEMA DE COLECCION DE POLVOS	31
3.1 Diseño del Sistema de Ventilación	35
3.1.1 Campanas de Succión	36
3.1.2 Diseño de la ductería	37
3.1.2.1 Determinación de los diámetros de la ductería	39
3.1.2.2 Pérdidas por longitud	40
3.1.2.3 Distribución del aire	43
3.1.2.3.1 Sistema balanceado sin compuertas	49

3.1.2.3.2 Sistema balanceado con compuertas	49
3.1.2.3.3 Selección del Método	54
3.1.2.4 Procedimiento de balanceo	54
3.1.2.5 Correcciones por cambios de velocidad	55
3.1.2.6 Correcciones para ductos de diferentes materiales	56
3.1.2.7 Correcciones por temperatura y altura sobre el nivel del mar	58
3.1.3 Diseño del Ventilador	
3.2 Diseño del Colector	60
3.2.1 Separadores inerciales	61
3.2.1.1 Colectores ciclónicos	62
3.2.1.2 Ciclones de alta eficiencia	67
3.2.2 Colectores por vía húmeda	69
3.2.2.1 Métodos de humedecimiento de las partículas	70
3.2.2.2 Clasificación de los Colectores húmedos	71
3.2.2.3 Diseño de los colectores húmedos	77
3.2.3 Precipitadores Electrostáticos	78
Principios de operación y diseño	
3.2.4 Filtros de Bolsas	83
3.2.4.1 Proceso de filtración	83
3.2.4.2 Factores prácticos que modifican la eficiencia teórica	90
3.2.4.3 Diseño de los Filtros de Bolsas	97
3.3 Estimación de costos	121

4.1 Diseño del sistema de ventilación	129
4.2 Diseño del sistema de colección	133
4.3 Lista general de partes y costos	136
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	139
BIBLIOGRAFIA	142

INTRODUCCION:

Con anterioridad no se había dedicado tanto interés y esfuerzo hacia el Control de la Contaminación del aire producida por el hombre. Esto ha ocasionado que los países industrializados o en vías de desarrollo se preocupen por establecer medios de control de la contaminación del aire a través - de códigos y reglamentos, así como de nuevas tecnologías para el control de las emisiones a la atmósfera con el fin de conservar, lo más limpio posible, el aire ambiente.

Uno de los objetivos de este trabajo es el de describir los principales equipos de control utilizados por la Industria del Cemento, ya que es ésta una de las industrias que más contamina el ambiente por las emisiones de polvo que se generan durante su proceso de fabricación, pero profundizando en el estudio de los Colectores de Bolsas, por ser éstos los más utilizados para prevenir la contaminación del aire, debido a su bajo costo y a su alta eficiencia de colección de partículas de polvo.

Además, se establecen las bases de diseño del Sistema de Captación de Polvos que está formado por el Sistema de Ventilación y el Sistema de Colección de los Polvos, dándose los parámetros utilizados para la selección de cada equipo de control.

Por último, como parte integrante de este trabajo se anexan los costos comparativos de los diferentes equipos de control, los factores a considerar para la estimación del costo, así como una aplicación, a vía de ejemplo, dentro del área de ensacado con Colectores de Bolsas.

CAPITULO I.-

Antecedentes.

El respirar es una de las necesidades más importantes que lleva a cabo cualquier ser viviente. Un hombre puede vivir sin alimento durante dos semanas, sin agua durante dos días, pero si se le suprime el aire que respira por solo dos minutos, el hombre en promedio, no puede sobrevivir. Por esta razón, nuestra vida depende del aire que respiramos.

Cada vez que respiramos, llevamos a nuestros pulmones no solamente el oxígeno que necesitamos, sino también todos aquellos contaminantes que se encuentran en la atmósfera como son los gases, polvos y humos que son generados por las instalaciones industriales. Esto ha ocasionado que el organismo humano se encuentre expuesto a un gran número de contaminantes que originan una serie de trastornos que van desde la simple molestia por irritación, hasta la absorción de algunos de ellos con la aparición de síntomas y signos de intoxicación.

De esta forma, se puede decir que algunos efectos provocados por la contaminación del aire son:

- a) Efectos sobre la salud del Hombre.
- b) Efectos nocivos sobre la vegetación y el suelo.
- c) Corrosión y deterioro de materiales.

Los primeros problemas de contaminación aparecieron cuando la población creció dentro de áreas reducidas. Posteriormente se acrecentó más con la aparición de la máquina de vapor a finales del siglo XVIII, al iniciarse la Era Industrial, que trajo consigo la formación de las primeras metrópolis y que para su desarrollo y subsistencia necesitaban de agua, energía, alimentos y materias primas. De esta forma, el aire comenzó a contaminarse debido principalmente a las siguientes fuentes:

- 1) Combustión para la generación de Energía Eléctrica.
- 2) Combustión por autotransporte de todo tipo.
- 3) Combustión de materias residuales.
- 4) Diversos procesos industriales.

De las fuentes de contaminación por procesos industriales, una de las industrias que más contamina es la Industria del Cemento. Debido al gran impulso que ha tenido la Industria de la Construcción en México, durante el período de 1972 a 1981, se han desarrollado también industrias colaterales entre las que destaca la Industria del Cemento. Así, por ejemplo, en el año de 1906 existía únicamente una fábrica de cemento con una capacidad de producción de 180 ton/día operando 4 hornos. En 1920 con 4 fábricas, una producción diaria de 608 ton. En 1930, 797 ton/día con 5 fábricas. En 1940, 1405 ton/día con 8 fábricas operando. En 1950, 4980 ton/día operando 18 fábricas. En 1960, 9735 ton/día, operando 20 fábricas.-

LOCALIZACION

- | | |
|---------------|-----------------|
| 1 ENSENADA | 15 GUADALAJARA |
| 2 CD. JUAREZ | 16 TOLTECA |
| 3 HERMOSILLO | 17 VITO |
| 4 CHIHUAHUA | 18 JASSO |
| 5 EL FUERTE | 19 APASCO |
| 6 TONREON | 20 ZAPOTILTLIC |
| 7 HIDALGO | 21 TLALNEPANTLA |
| 8 MONTERREY | 22 MEXICO, D.F. |
| 9 MONTERREY | 23 PUEBLA |
| 10 MAZATLAN | 24 CUERNAVACA |
| 11 VALLES | 25 ORIZABA |
| 12 TAMUJN | 26 ACAPULCO |
| 13 LEON | 27 LAGUNAS |
| 14 ATOTONILCO | 28 MERIDA |

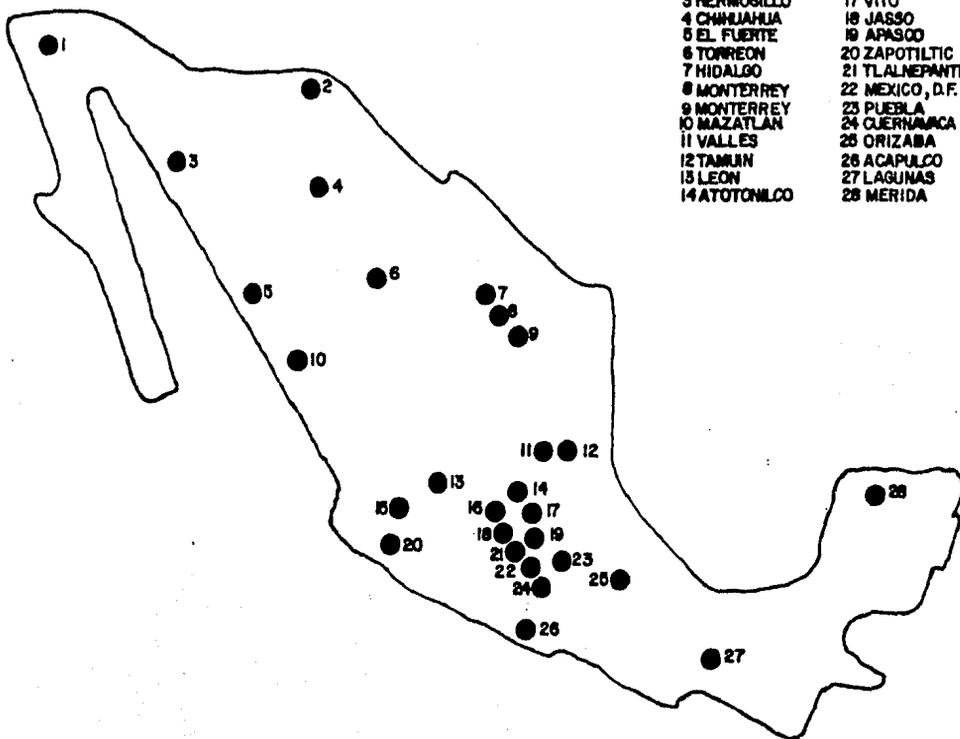


Fig. 1
LOCALIZACION DE LAS
PLANTAS DE CEMENTO

En 1970, 22,000 ton/día en 27 fábricas establecidas y en la actualidad se cuentan con 28 fábricas con una producción por día de 60,000 toneladas (1) (Tabla 1 y 2).

En las ampliaciones llevadas a cabo en los 10 años transcurridos desde 1972 a 1982, se tomó en consideración entre otros factores a la ubicación de las nuevas instalaciones de tal forma que cubrieran las necesidades de todas las regiones del País, con el mínimo posible de costo en materia de transporte, debido a la baja densidad económica del cemento. (Fig. 1).

Otro aspecto que es muy importante de mencionar, debido a que es uno de los factores que siempre deben de tenerse en cuenta para la selección y el diseño del equipo de control, es el Legislativo.

Podemos considerar que el primer antecedente sobre legislación relativa al control de la contaminación ambiental fué el " Reglamento para los Establecimientos Industriales o Comerciales Molestos, Insalubres y Peligrosos ", promulgado por el General Lázaro Cárdenas en noviembre de 1940. En este reglamento se definían como establecimientos molestos por polvos, gases o humos a aquellos " cuyas emanaciones penetren en habitaciones vecinas o ensucien sus muros o techos ".

A los establecimientos insalubres se ordenaba - - (Art.22) que " cuando las sustancias desprendidas en forma de polvos, gases, etc. puedan dañar la salud de sus habitantes, será requisito indispensable, tratar en forma adecuada dichas

CAPACIDAD DE LAS FABRICAS DE CEMENTO

(Miles de toneladas)

	<u>CAPACIDAD</u>	<u>PROCESO</u>	<u>UBICACION</u>
Cemento Portland Blanco de México, S.A.	245	Seco	Vito, Hgo.
Cementos Anahuac	2,500	Seco	Tlalnepantla, E.M.
Cementos Anahuac del Golfo	2,000	Seco	Tamuín, S.L.P.
Cementos Apasco	1,500	Seco	Apaxco, E.M.
Cemento de Acapulco	200	Seco	Acapulco, Gro.
Cementos de Chihuahua, S.A.	390	Seco	Nombre de Dios, CHIH.
Cementos de Chihuahua, S.A.	145	Seco	Cd. Juárez, CHIH.
Cementos Mexicanos, S.A.	2,390	Seco	Monterrey, N.L.
Cementos Mexicanos, S.A.	810	Seco	Torreón, Coah.
Cementos Mexicanos, S.A.	915	Seco	Cd. Valles, S.L.P.
Cementos del Norte	264	Seco	Monterrey, N.L.
Cementos Maya, S.A.	620	Seco	Mérida, Yuc.
Cementos Maya, S.A.	720	Húmedo	León, Gto.
Cementos Guadalajara, S.A.	720	Seco	Guadalajara, Jal.
Cementos Guadalajara	720	Seco	Ensenada, B.C.
Cemento Portland Moctezuma	158	Húmedo	Xiutepec, Mor.
Cementos Tolteca, S.A.	1,715	Seco	Atotonilco, Hgo.
Cementos Tolteca, S.A.	329	Seco	México, D.F.
Cementos Tolteca, S.A.	818	Húmedo	Tolteca, Hgo.
Cementos Tolteca, S.A.	840	Seco	Zapotiltic, Jal.
Cementos Atoyac, S.A.	155	Seco	Puebla, Pue.
Cementos del Pacífico, S.A.	160	Seco	Marmol, Sin.
Cemento Portland Nacional, S. A.	940	Seco	Hermosillo, Son.
Cementos Sinaloa, S.A.	510	Seco	El Fuerte, Sin.
Cementos Veracruz, S.A.	1,500	Seco	Orizaba, Ver.

TABLA No. 1 (Continuación)

CAPACIDAD DE LAS FABRICAS DE CEMENTO

(Miles de Toneladas)

<u>PLANTA</u>	<u>CAPACIDAD</u>	<u>TIPO DE PROCESO</u>	<u>UBICACION</u>
Cementos Cruz Azul, S.A.	1,400	Seco	Cd. Coop. Cruz Azul
Cementos Cruz Azul	470	Seco	Lagunas, Oax.
Cementos Hidalgo	456	Seco	Hidalgo, N.L.

*FUENTE: Cámara Nacional del Cemento

TABLA No. 2

PRODUCCION ANUAL DE CEMENTO GRIS POR PLANTA

(miles de Toneladas)

<u>PLANTA</u>	<u>1978</u>	<u>1979</u>	<u>1980</u>	<u>1981</u>
Cemento Portland Blanco de Mex.	0	0	0	0
Cemento Portland Nacional S.A. de C.V.	122	113	107	122
Cementos Anahuac, S.A.	1594	1534	1443	1652
Cementos Anahuac del Golfo, S.A.	1394	1292	1266	1564
Cementos Apasco, S.A.	1216	1374	1394	1513
Cementos Atoyac, S.A.	144	148	131	123
Cementos de Acapulco, S.A.	194	199	227	227
Cementos de Chihuahua, S.A.	288	322	333	390
Cementos de Chihuahua, S.A. Cd. Juárez	137	138	135	143
Cementos del Norte, S.A.	156	127	136	179
Cementos del Pacífico, S.A.	170	172	142	104
Cementos Guadalajara, S.A. Guad.	622	622	687	757
Cementos Guadalajara, S.A. B.C.	288	304	499	651
Cementos Hidalgo, S.C.L.	268	286	414	452
Cementos Maya, S.A. Div. Bajío	489	492	503	579
Cementos Maya, S.A. Mérida	203	335	507	533
Cementos Mexicanos, S.A. Monterrey	1208	1472	1431	1473
Cementos Mexicanos, S.A. Torreón	347	412	670	808
Cementos Mexicanos, S.A. Cd. Valles	174	186	171	330
Cementos Portland Moctezuma, S.A.	150	157	156	148
Cementos Sinaloa, S.A.	383	395	415	427
Cementos Tolteca, S.A. Div. Atotonilco	1157	1290	1384	1604
Cementos Tolteca, S.A. Div. Mixcoac	244	250	253	236
Cementos Tolteca, S.A. Div. Tolteca	511	514	517	505
Cementos Tolteca, S.A. Div. Zapotiltic	449	516	657	687
Cementos Veracruz, S.A.	625	659	699	725
Cementos Cruz Azul, S.C.I. Lagunas	476	474	472	486
Cementos Cruz Azul, S.C.L. Jasso	1047	1355	1494	1560
	<u>14056</u>	<u>15178</u>	<u>16243</u>	<u>17978</u>

*FUENTE: Cámara Nacional del Cemento

sustancias antes de lanzarlas al exterior ".

Por su parte, en el capítulo referente a los establecimientos peligrosos se fijaban lineamientos para las industrias que manejaran productos explosivos, inflamables o tóxicos.

Al iniciarse la década de los 70, el Gobierno Federal, inició una serie de estudios tendientes a la elaboración de una reglamentación para controlar y prevenir la contaminación ambiental. Resultado de ellos fué la promulgación en 1971, de la Ley Federal para prevenir y controlar la Contaminación Ambiental, donde en el Capítulo II se dan las acciones para la prevención y control de la contaminación del aire, considerando como fuentes emisoras de contaminantes:

1. Las naturales, que incluyen áreas de terrenos erosionados, terrenos desecados, emisiones volcánicas y otros semejantes.
2. Las artificiales, o sea aquellos productos de la tecnología y acción del hombre, entre las cuales se encuentran:

a) Fijas, como fábricas, calderas, talleres, termoeléctricas, plantas químicas, y cualquiera otra análoga a las anteriores.

b) Móviles, como vehículos automotores de combustión interna, aviones, locomotoras, barcos, motocicletas y demás similares.

c) Diversas, como la incineración, quema a cielo abierto de basuras y residuos, y otras que consuman combustibles que produzcan o puedan producir contaminación,

....

e indicando que las emisiones a la atmósfera deben apearse a las normas especificadas que al respecto se dicten.

En 1973 fué promulgado el Código Sanitario, que dedica su título III al Saneamiento del Ambiente y en él, el Capítulo II a la preservación de la calidad de la atmósfera.

Actualmente se cuenta con el Reglamento sobre la emisión de humos y polvos, promulgado en septiembre de 1971 para prevenir y controlar la Contaminación Atmosférica. Además se cuenta con el propio Código Sanitario.

Este reglamento presenta ya, en forma más detallada, las medidas de control que debe aplicar la industria para evitar y reducir sus emisiones contaminantes de humos y polvos.

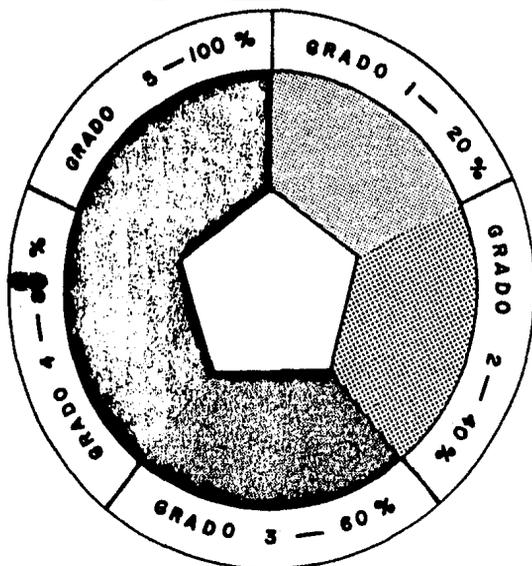
En el aspecto de humos el reglamento limita las emisiones comparándolas con la Carta de Humos de Ringelmann (Tabla 3A). Esta situación ha provocado problemas al querer evaluar humos de otros colores diferentes al negro o grises, ya que la escala de Ringelmann no es aplicable en estos casos.

Con relación a las emisiones de polvo, el Reglamento fija límites tanto para los procesos industriales, como para los sistemas de combustión. (Tabla 3B).

Las emisiones procedentes de procesos industriales se reglamentaron en dos diferentes formas, una de ellas basándose en el peso del proceso industrial y la otra en el volumen de gas emitido; en ambos casos se fijan límites diferen-

TABLA No. 3A

CARTA DE HUMOS DE RINGELMANN



INSTRUCCIONES:

Tome este contaminómetro, extienda el brazo al máximo y vea por la perforación el humo que emana de la chimenea.

Evite mirar en dirección al sol. El fondo inmediatamente detrás del penacho de humo deberá hallarse libre de edificios u objetos oscuros. Su línea de visión deberá ser perpendicular a la dirección en que se desplaza el humo, y deberá usted colocarse a no menos de 30 ni más de 200 metros de la chimenea.

Compare las tonalidades de la emanación con los tonos señalados por este contaminómetro, a fin de establecer el segmento, entre grado 1-20% y grado 5-100%, que más se aproxime a la graduación o densidad del humo.

TABLA 3Bi
EMISIONES MAXIMAS PERMITIDAS, Kg/hr. POR PESO

PESO DEL
 PROCESO

Ton/h.	INDUSTRIA NUEVA	INDUSTRIA EXISTENTE
0.025	0.489	0.652
0.050	0.780	1.040
0.100	1.239	1.652
0.220	1.974	2.632
0.300	2.589	3.452
0.400	3.141	4.188
0.500	3.648	4.864
0.750	4.788	6.348
1.000	5.805	7.740
1.250	6.741	8.988
1.500	7.617	10.156
2.000	9.237	12.316
2.500	10.725	14.300
3.000	12.120	16.160
3.500	13.437	17.916
4.000	14.694	19.592
4.500	15.900	21.200
5.000	17.064	22.752
6.0	19.281	25.708
8.0	23.382	31.176
10.0	27.153	36.204
15.0	35.625	47.500
20.0	43.200	57.600
25.0	50.166	66.888
30.0	55.572	74.096
35.0	57.462	76.616
40.0	59.127	78.836
45.0	60.564	80.752
50.0	61.926	82.568
60.0	64.269	85.693
70.0	65.556	87.408
80.0	68.052	90.736
100.0	71.154	94.872
500.0	95.436	127.248
1000.0	107.313	143.084
3000.0	130.080	172.650

FUENTE: Legislación Ambiental de México. Art 21.1977

La interpolación de los datos de esta tabla para peso de proceso hasta 28.5 toneladas por hora, para industria nueva debe hacerse usando la ecuación: $E=5.805 P$ y para industria existente debe usarse usando la ecuación: $E=7.740 P$.

TABLA 3Bii

EMISIONES MAXIMAS PERMITIDAS, m³ normal POR VOLUMEN

VOLUMEN DE GAS EN LA FUENTE. m ³ normal	CONCENTRACION INDUSTRIA NUEVA mg/m ³ normal	CONCENTRACION INDUSTRIA EXISTENTE mg/m ³ normal
100	849.0	1132.0
125	795.0	1060.0
150	750.0	1000.0
175	714.0	952.0
200	684.0	912.0
300	600.0	800.0
400	543.0	724.0
500	510.0	680.0
750	444.0	592.0
1000	405.0	540.0
1500	357.0	476.0
2000	324.0	432.0
3000	285.0	380.0
4000	258.0	344.0
5000	240.0	320.0
7500	210.0	280.0
10000	192.0	256.0
15000	168.0	224.0
20000	154.2	205.6
30000	135.0	180.0
40000	123.0	164.0
50000	114.0	152.0

FUENTE : Legislación Ambiental de México, Art.21, 1977

TABLA 3C

INVERSION EN CONTROL A LA CONTAMINACION
(Millones de pesos)

AÑO	INVERSION
1972	69,565
1973	28,540
1974	69,540
1975	149,033
1976	199,934
1977	136,179
1978	152,242
1979	615,405
1980	217,151
1981	989,212

Fuente: Cámara Nacional del Cemento
1981

tes dependiendo de si la fuente emisora es nueva o existente.

Por otra parte, es importante mencionar que esta reglamentación ha sido una herramienta útil para lograr el abatimiento de la contaminación, ya que al presente, y en cier -
tos campos industriales tales como la Industria del Cemento, -
se han obtenido logros importantes. De igual forma, la aplica
ción de los artículos 7 y 8 referentes a la necesidad de li -
cencias de instalación o ampliación de industria que se ha --
presentado a partir de 1975, incluya los elementos de control
adecuados. Basta observar el capital que se ha invertido en -
la Industria del Cemento para la adquisición de Equipo de -
Control de Emisiones de Polvo (Tabla 3C).

CAPITULO 2.

DESCRIPCION DEL PROCESO DE ELABORACION DEL CEMENTO.

2.1. GENERALIDADES.

Con la denominación de Cemento se designaban antiguamente en el comercio numerosos materiales, cuya característica principal era su cualidad aglomerante.

Para evitar confusiones, la Comisión Alemana de Normas estableció la siguiente definición del concepto de cementos (2):

" Se llaman cementos aquellos materiales que se endurecen tanto en el aire como en el agua y que después de su endurecimiento son aglomerantes resistentes a la acción del agua, que están compuestos principalmente por combinaciones del óxido cálcico con sílice, alúmina y óxido férrico, y que además cumplen con las normas dictadas para tales materiales, especialmente a lo relativo a resistencias y a estabilidad de volúmen. El material crudo o por lo menos los componentes -- principales de los materiales de partida, tienen que ser calentados como mínimo hasta la clinkerización (principio de -- fusión)!"

En la antigüedad se preparaban los morteros con cal cocida y arena. Como tales morteros no eran hidráulicos o estables al agua se emplearon adiciones hidráulicas como la puzolana, arcilla cocida, etc., cuyas propiedades son estimuladas por el contacto con la cal o bien se empleaba directamen-

te cal hidráulica.

Las cales hidráulicas se obtienen de las margas calizas cociéndolas por debajo del límite de clinkerización hidratándolas después y procurando su trituration o pulverización hasta la finura deseada.

Se denominan hidráulicos aquellos aglomerantes que amasados con agua se endurecen tanto al aire como en agua y que después de fraguar son insolubles en ella.

Adiciones hidráulicas son aquellas materias que poseen la propiedad de endurecerse cuando, mezcladas con cal, se amasan con agua.

Se observó que mediante la cocción de calizas arcillosas se obtenía una materia aglomerante que también se endurecía fuera del contacto del aire y bajo el agua y que era insoluble en ésta. Como este material se asemejaba en aspecto y color a una piedra empleada en Inglaterra denominada "Piedra-Portland", se le denominó también Cemento Portland.

Se indicó al cabo de poco tiempo que la relación de la cal a la arcilla en el cemento, así como la temperatura de la cocción eran determinadas si se quería que la resistencia adquirida por el material al fraguar fuese conveniente.

Los primeros cementos se cocían débilmente sin llegar hasta el punto de clinkerización. Pero se observó que por medio de una cocción más intensa por encima de la temperatura de descarbonatación, llegando al principio de la fusión, se lograban mayores resistencias.

...

La aptitud de reacción del cemento se logra mediante la cocción del crudo y aumenta al aumentar las temperaturas a que ésta se hace. Lo primero que ocurre es la expulsión del anhídrido carbónico de la caliza.

El carbonato cálcico cede su anhídrido carbónico a temperaturas entre 700 y 1000°C y se convierte en cal viva (CaO), la cual al aumentar la temperatura entra en reacción con las otras sustancias existentes en el crudo. Este adquiere entonces una coloración amarilla, formándose silicatos y aluminatos de calcio y adquiriendo propiedades hidráulicas, pero formándose únicamente lo que se denominan "incocidos" o "poco cocidos".

Cuando la temperatura de cocción rebasa los 1200 °C el producto de la cocción adquiere una coloración gris correspondiendo su hidráulicidad al denominado cemento romano o cemento natural.

A los 1350°C comienza la clinkerización del material que ya es normal a los 1400°C a 1480°C caracterizada por la formación de los aluminos ferritos de calcio. Se forma entonces el clinker que presenta una coloración negra-verdosa. Las temperaturas a las que se logra la completa combinación de la cal, son tanto más bajas cuanto más elevado es el contenido de óxido férrico del crudo. La temperatura de 1430°C rara vez es rebasada aún en el caso de aquellos materiales de más difícil clinkerización

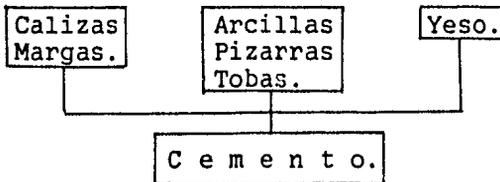
.....

2.2. PROCESO DE FABRICACION.

En la actualidad se emplean tres tipos de procesos para la fabricación del Cemento Portland:

- a) Proceso Húmedo.
- b) Proceso Semi-húmedo.
- c) Proceso Seco.

Los cuales se diferencian únicamente en el estado físico de la materia prima, al ser alimentada al horno de calcinación. Las materias primas fundamentales para la fabricación del cemento son: Calizas o Margas y los materiales arcillosos como el barro o pizarra. La combinación de estos materiales a la elevada temperatura que se tiene en los hornos de calcinación forman los compuestos del cemento.



Por cada tonelada de cemento se necesitan los siguientes ingredientes:

MATERIA PRIMA:	CANTIDAD:
Caliza	1200 Kg.
Arcilla	370 Kg.
Yeso	60 Kg.

....

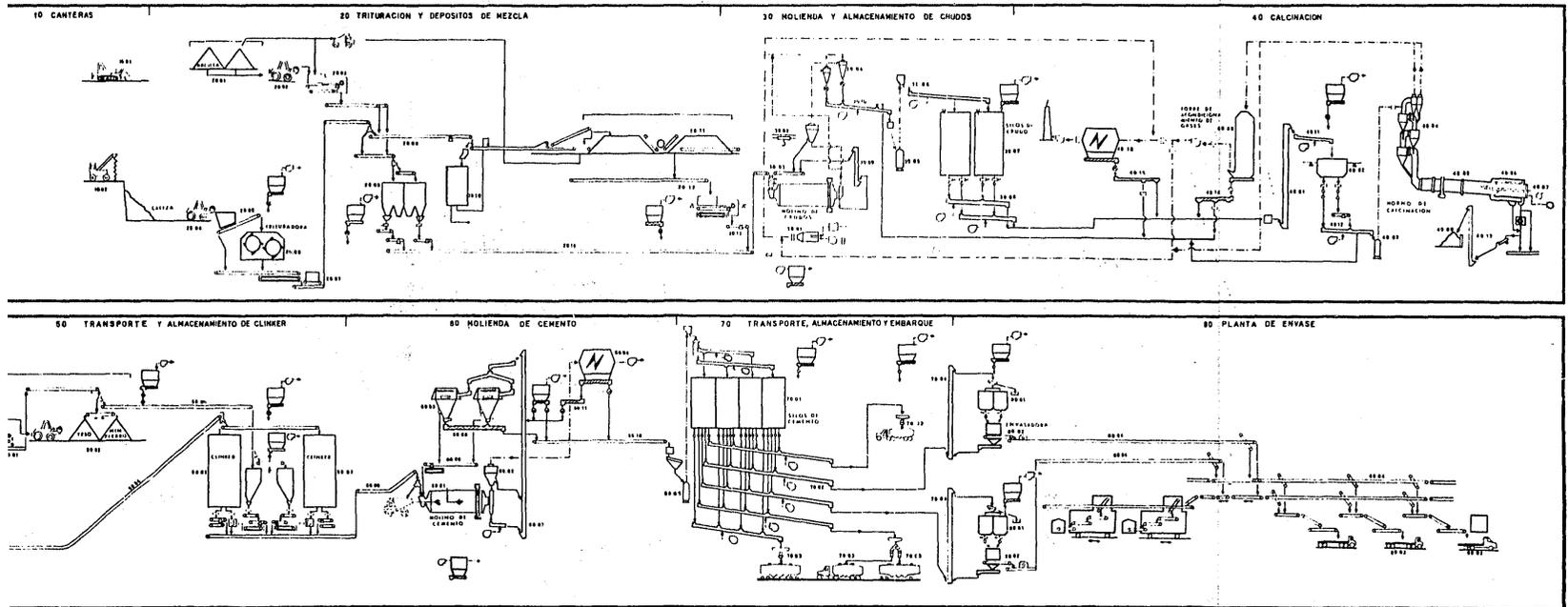


FIG.2 PROCESO DE FABRICACION

Mineral de Fierro	30 Kg.
Material Silicoso Cuarzo.	30 Kg.

La utilización de un proceso u otro, es decir, que la fabricación se lleve a cabo por vía seca o húmeda, depende en sí de la cantidad de humedad que contengan las materias primas al ser extraídas de la cantera. Así, el material alimentado a los hornos de proceso húmedo está formado por una pasta con un contenido de humedad de un 35 a un 40%, en tanto que en el proceso semihúmedo, el material alimentado tiene un contenido de humedad del 18 al 20%. Estos procesos tienen la desventaja de requerir mayor consumo calorífico que el utilizado en el proceso seco, en el cuál el contenido de humedad es del 6% al entrar al horno.

Debido a que en México sólo se tienen 3 plantas de fabricación del Cemento por vía húmeda (León, Gto.; Cuernavaca, Mor.; Toluca, Hgo.) y que de acuerdo a la capacidad instalada la producción no es significativa (Tabla 1) comparada con la obtenida por vía seca, únicamente se hará la descripción de ésta última.

2.2.1. P R O C E S O S E C O .

El primer paso consiste en la obtención de las materias primas mediante el procedimiento de explotación de bancos a cielo abierto y después se transportan para su trituración (Ver Fig.2 pos 10.01 y 10.02).

.....

La arcilla obtenida y clasificada es almacenada-- a cielo abierto (pos. 10.01) y transportada por trascabos a un proceso de molienda (Pos. 10.03) y llevada por medio de - bandas transportadoras (pos. 10.08) al almacén abierto y una pequeña parte a la estación de muestreo para su análisis. - (Pos. 20.10).

La piedra caliza es transportada por cargadores (Pos 20.04) y por medio de banda transportadora (pos.20.05) a la - trituradora de quijas (pos.20.06) la cuál reduce su tamaño- a un promedio de 2.5 cm. y como máximo a 5 cms. (3). El mate- rial ya triturado es pesado en una báscula integral (Pos. --- 20.07) y transportado por bandas, una parte de acuerdo a su - calidad, como caliza de corrección de mezcla y la demás al al macén abierto (Pos. 20.11). Si el contenido de los materia - les requiere de ser corregido en su composición, le son agre- gados materiales que contienen mineral de fierro y caliza y - llevados al siguiente paso de proceso que es la Molienda y Al macenamiento de crudos (Pos. 30).

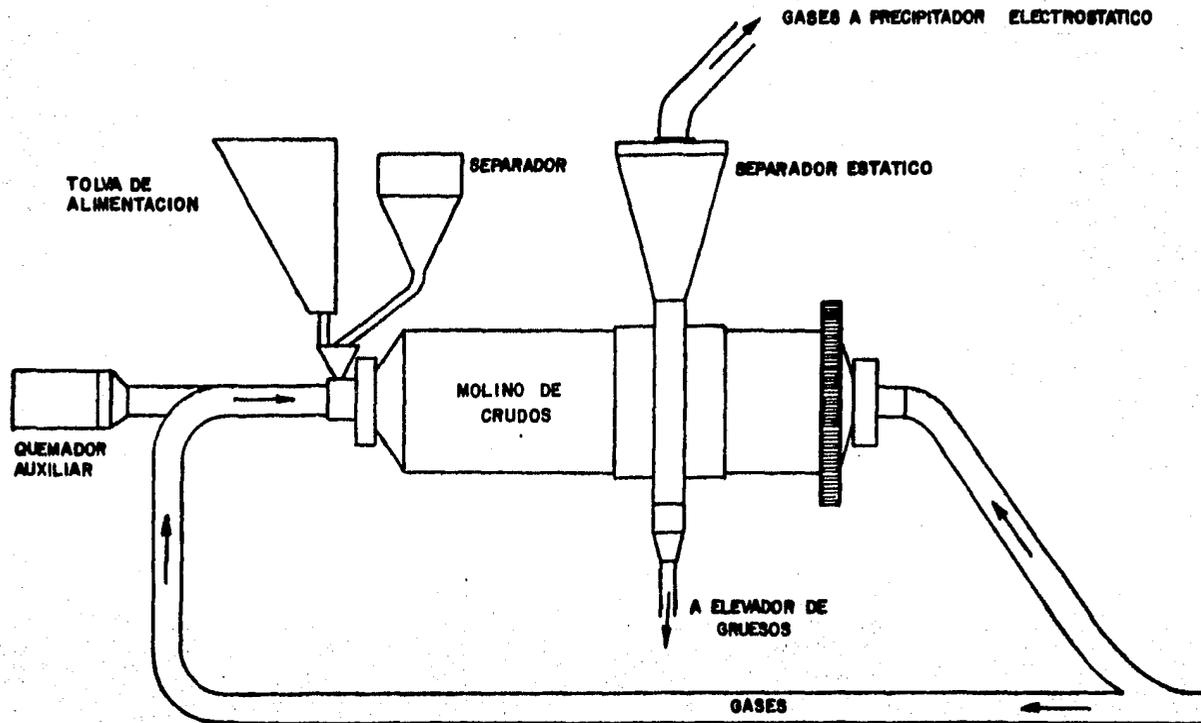
El material, ya dosificado y equilibrado en su conte- nido de minerales, es transportado por medio de bandas a la -- operación de Molienda, la cuál se realiza en un molino rotato- rio de bolas (pos. 30.01). La operación es continua y el mate- rial es molido a una finura de malla 325 (44) en más del 95% El sistema de ventilación del molino, extrae el material de-- la tercera etapa de molienda, seleccionando por un separador- estático las partículas finas de las gruesas (Pos.30.02). Las

.....

partículas finas son llevadas a una segunda operación de separación (Pos. 30.04) en donde se depositan todas las partículas cuyo tamaño es menor de 44μ y transportadas por medios neumáticos a los silos de homogenización y almacenamiento (Pos. 30.06 y 30.07). Las partículas gruesas (mayores a 44μ) son regresadas al molino de bolas para un segundo paso de molienda (Pos. 30.03). Este molino presenta un arreglo que permite la transferencia de calor haciendo pasar a través de él, parte de los gases producto de la combustión en el horno de calcinación, con lo cuál se obtiene una doble ventaja: los materiales son secados y los gases son acondicionados, abatiendo su temperatura e incrementando su contenido de humedad antes de ser llevados al precipitador electrostático (Fig.3). La mezcla de polvos, ya homogenizada y corregida en su contenido normal de minerales es llevada por bandas transportadoras neumáticas (pos. 30.08) a un elevador de cangilones (pos.40.01), el cuál deposita la mezcla en una tolva alimentadora (pos. 40.02), la que además de asegurar el abatimiento constante al horno tiene una báscula integral para regular la alimentación. De esta tolva, la mezcla es llevada a un compresor (pos.40.03) que inyecta neumáticamente la mezcla a la primera etapa del precalentador por suspensión (Pos.40.04). Este precalentador ofrece un gran aprovechamiento térmico de los gases de combustión del horno y marca la diferencia económica más importante sobre los demás procesos de producción.

....

FIG.3
MOLINO DE CRUDOS CON CIRCULACION
DE GASES DEL HORNO.



TOMADO REF. 3

El material desciende por gravedad a contraflujo de los gases por las cuatro etapas del precalentador, incrementando su temperatura de 90°C a 880°C, a la vez que los gases de combustión decrecen de 1100°C, a la cuál entra en la cuarta etapa a 330°C, que es la temperatura de salida en la primera etapa (Fig.4).

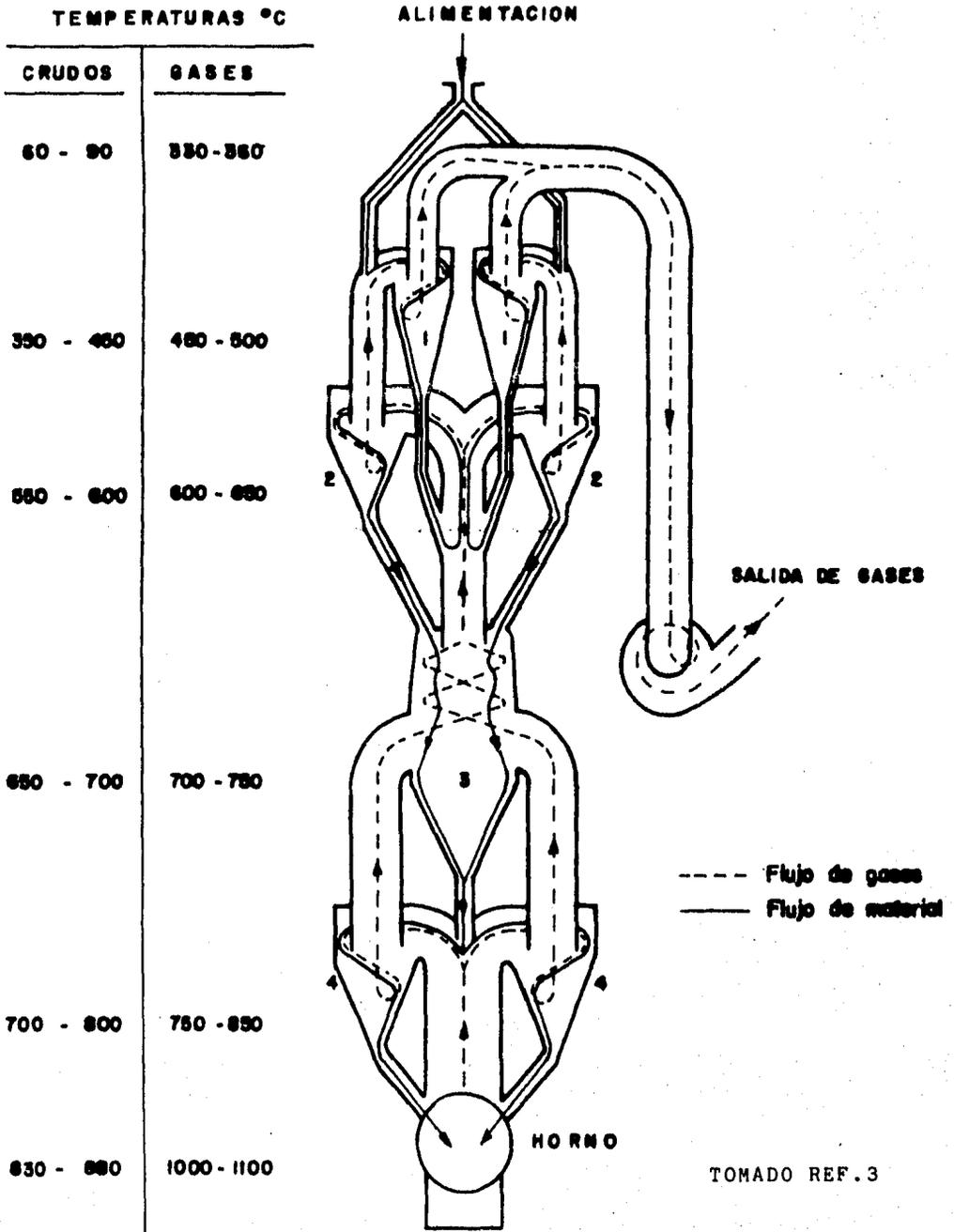
En la cuarta etapa del precalentador, el material es alimentado directamente al horno, que es de tipo rotativo con una velocidad periférica aproximada de 0.15m/s. y con una pendiente de 5% (pos. 40.05).

En el horno es donde se realiza la única operación que causa cambios químicos en la materia de acuerdo a lo visto en las generalidades (2.1) y es donde se forma el clinker, el cuál es descargado al enfriador instalado después de la zona de calcinación, reduciendo su temperatura de 900° a 110°C. El producto es almacenado en forma primaria en un local cerrado y llevado paulatinamente a silos, de donde y por medio de básculas integrales (Pos. 50.03) es descargado a bandas transportadoras a la vez que le son agregados yeso y mineral de fierro, elementos reguladores del fraguado. Previamente el yeso ha sido molido (Pos. 50.01) y transportado a las tolvas dosificadoras (pos. 50.04) que lo descargan a las bandas transportadoras de clinker.

La mezcla de clinker y yeso, la cuál guarda una proporción aproximada de 95% por un 5% respectivamente, es ali -

.....

FIG. 4
PRECALENTADOR DE 4 ETAPAS
POR SUSPENSION A CONTRAFLUJO.



mentada a un molino de bolas de 2 etapas (Pos. 60.01). El grado de finura en la molienda, es determinada por el tipo de cemento a producir. Sin embargo, el grado de molienda debe ser en un 100% menor al de la malla 325 para el tipo I de cemento Portland llamado normal.

El material es alimentado en proceso continuo a su primera etapa de molienda y al llegar a la siguiente etapa es seleccionado neumáticamente y llevado a la primera fase de separación (Pos. 60.02). Los polvos finos, menores a 44 son colectados en un precipitador electrostático (Pos.60.04) y los gruesos llevados a una segunda fase de separación en separadores estáticos (Pos. 60.03) en donde los finos que pudieron ser arrastrados son colectados y llevados a una tolva, de la cual son bombeados neumáticamente a silos, por medio de un compresor (Pos. 60.05). Los polvos gruesos son retornados a la primera etapa de molienda.

Durante el proceso de molienda y debido al rozamiento interno entre el material y las bolas del molino, se eleva la temperatura interna. Para evitar la pérdida de moléculas de agua en el yeso, le es adicionada agua atomizada durante las dos etapas de molienda.

El cemento es depositado en silos (Pos.70.01) de acuerdo a su tipo y descargado a bandas transportadoras neumáticas, las que los conducen a las posiciones de embarque a granel (Pos. 70.03) o por medio de elevadores (Pos.70.04) a tolvas para su envase en sacos.

Normalmente las plantas constan de tolvas alimentadoras (Pos. 80.01) y envasadoras neumáticas (Pos.80.02), - las cuáles envasan el cemento en sacos de cartón a un peso - exacto de 50 Kg.

El producto final es transportado por bandas continuas y descubiertas a las posiciones de embarque de sacos para su distribución.(Pos. 80.03).

2.3. G R A D O D E F I N U R A .

Este es un factor que junto con la composición química tiene una gran influencia en la mayor parte de las propiedades del cemento, principalmente en lo que se refiere a su resistencia.

Al aumentar la finura se incrementa la velocidad de hidratación del cemento y produce mayor resistencia inicial y mayor generación de calor. Así mismo, aumenta la resistencia mecánica, aumenta la trabajabilidad y cohesión del concreto y su permeabilidad y resistencia al congelamiento y deshielo.

2.4. P U N T O S D E E M I S I O N .

Debido a las características del proceso seco, se generan polvos durante todo el proceso de fabricación del cemento, hasta lograr el producto final. Las emisiones más importantes por su magnitud en la fabricación del cemento, son las producidas en el proceso de calcinación, incluyendo el precalentamiento de crudos.

TABLA No. 3D
PUNTOS DE EMISION DE POLVOS

POSICION	OPERACION	EQUIPO QUE INTERVIENE	EMISION	MAGNITUD DE EMISION	REQUIERE CONTROL	TIPO DE CONTROL
10.01	Transporte de arcillas	Trascavo	polvos	baja	si	Humidificar
10.02	Transporte de caliza	Trascavo	polvos	baja	si	Humidificar
20.01	Almacenamiento Arcillas	Ninguno	polvos	media	si	Humidificar o cubrir
20.02	Transporte Arcillas	Trascavo	polvos	baja	si	Humidificar
20.03	Molienda de Arcillas	Molino	polvos	baja	si	Humidificar
20.04	Transporte Caliza	Trascavo	polvos	baja	si	Humidificar
20.05	Transporte Caliza	Banda continua	polvos	baja	si	Humidificar
20.06	Trituración de Caliza	Trituradora de Quijadas	polvos	alta	si	Colector de Bolsas
20.07	Pesado de Caliza	Báscula Integral	no	---	no	-----
20.08	Transporte Arcillas	Banda continua	polvos	baja	si	Cerrar banda
20.09	Almacenamiento de mineral Fe. y caliza para corregir	Silos	polvos	media	si	Colector de Bolsas
20.10	Muestreo de Mineral	Estación Muestreo	ninguna	---	no	-----
20.11	Almacenamiento triturados	Ninguno	polvos	media	si	Humidificar
20.12	Transporte de Triturados	Banda Continua	polvos	baja	si	Cerrar banda
20.13	Transporte de Triturados	Banda Continua	polvos	baja	si	Cerrar banda
20.14	Transporte de mineral Fe. y caliza para corregir	Banda Continua	polvos	baja	si	Cerrar banda
30.01	Molino de crudos	Molino de bolas	polvos	muy alta	si	Ventilación
30.02	Clasificación de Polvos	Separador Estático	polvos	muy alta	si	Ventilación
30.03	Transporte de Gruesos	Banda Continua	polvos	alta	si	Cerrar bandas
30.04	Clasificación de polvos	Separadores Centrifugos	polvos	muy alta	si	Ventilación
30.05	Transporte de crudos	Compresor de aire	polvos	muy alta	si	Descarga cerrada a silos
30.06	Transporte de crudos	Banda Neumática	polvos	alta	si	Hermeticidad en bandas
30.07	Almacenamiento de crudos	Silos de Concreto	polvos	muy alta	si	Colector de Bolsas
30.08	Transporte de Crudos	Banda Neumática	polvos	alta	si	Hermeticidad en bandas
30.09	Transporte de Gruesos	Elevador de Cangilones	polvos	alta	si	Cerrar elevador
30.10	Transporte de Crudos	Banda Neumática	polvos	alta	si	Hermeticidad en bandas
40.01	Transporte de Crudos	Elevador de Cangilones	polvos	alta	si	Cerrar Elevador

TABLA No. 3D (Continuación)
PUNTOS DE EMISION DE POLVOS.

POSICION	OPERACION	EQUIPO QUE INTERVIENE	EMISION	MAGNITUD DE EMISION	REQUIERE CONTROL	TIPO DE CONTROL
40.02	Alimentación de Crudos	Báscula Alimentadora	polvos	alta	si	Colector de Bolsas
40.03	Alimentación a precalentador	Compresor de aire	polvos	muy alta	si	Ventilación
40.04	Precalentamiento	Precalentador	polvos	altísima	si	Precipitador Electroestático
40.05	Calcinación	Horno rotatorio	polvos	muy alta	si	Ventilación
40.06	Enfriamiento Clinker	Enfriador planetario	no	-----	no	Enfría a Tem. ambiente
40.07	Combustión	Quenador Automático	gases	normal	no	Prod. normales de Comb.
40.08	Almacenamiento de Clinker	ninguno	polvos	alta	si	Cerrar almacén
40.09	Acondicionamiento de gases	Torre de Enfriamiento	no	----	--	Mayor efic. de Precip.
40.10	Colección de Polvos	Precipitador Electros tático	no	----	--	Es equipo de Control
40.11	Transporte de Crudos	Banda Neumática	polvos	alta	si	Hermetizar banda
40.12	Transporte de Crudos	Banda Neumática	polvos	alta	si	Hermetizar banda
40.13	Transporte de Clinker	Elevador Cangilones	polvos	alta	si	Cerrar elevador
40.14	Transporte de Crudos Colector	Transporte Helicoidal	polvos	alta	si	Cerrar Transportador
40.15	Transporte de Crudos Colector	Transporte Helicoidal	polvos	alta	si	Cerrar Transportador
50.01	Recepción de Aditivo	Molino centrífugo	polvos	alta	si	Colector de Bolsas
50.02	Almacenamiento de Aditivos	Ninguno	polvos	media	si	Cerrar Almacén
50.03	Almacenamiento de Clinker	Silos de Concreto	polvos	alta	si	Colector de Bolsas
50.04	Almacenamiento de Aditivos	Tolvas de Acero	polvos	alta	si	Colector de Bolsas
50.05	Transporte de Aditivos	Banda Continua	polvos	alta	si	Cerrar banda
50.06	Transporte de Clinker	Banda Continua	polvos	alta	si	Cerrar banda
50.07	Transporte Clinker y Aditivos	Banda Continua	polvos	alta	si	Cerrar banda
60.01	Molienda de Cemento	Molino de bolas	polvos	muy alta	si	Precipitador Electroestático
60.02	Clasificación de polvos	Separador centrífugo	polvos	alta	si	Ventilación
60.03	Clasificación de polvos	Separadores Estáticos	polvos	alta	si	Colector de bolsas
60.04	Colección de polvos	Precipitador Electros tático	no	---	--	Colecta los polvos del sistema
60.05	Transporte de Cemento	Compresor de aire	polvos	muy alta	si	Descarga cerrada a silos
60.06	Transporte Clinker y Aditivos	Banda Continua	polvos	alta	si	Cerrar banda
60.07	Transporte de Gruesos	Elevador de Cangilones	polvos	alta	si	Cerrar elevador
60.08	Transporte de Gruesos y de Cemento	Transportador Helicoidal	polvos	alta	si	Cerrar Transportador

TABLA No. 3 D (Continuación)
PUNTOS DE EMISION DE POLVOS.

POSICION	OPERACION	EQUIPO QUE INTERVIENE	EMISION	MAGNITUD DE EMISION	REQUIERE CONTROL	TIPO DE CONTROL
60.09	Transporte de Gruesos	Banda Continua	polvos	alta	si	Cerrar banda
60.10	Transporte de Cemento	Banda Continua	polvos	alta	si	Cerrar banda
60.11	Transporte de Cemento	Transportador Helicoidal	polvos	alta	si	Cerrar Transportador
70.01	Almacenamiento de Cemento	Silos de Concreto	polvos	alta	si	Colector de Bolsas
70.02	Transporte de Cemento	Bandas Neumáticas	polvos	alta	si	Hermetizar bandas
70.03	Embarque de Cemento	Llenadora automática	polvos	alta	si	Colector de Bolsas
70.04	Transporte de Cemento	Elevador de Cangilones	polvos	alta	si	Cerrar Elevador
80.01	Alimentación de Cemento	Tolvas de Acero	polvos	alta	si	Colector de Bolsas
80.02	Envase	Envasadora Automática	polvos	alta	si	Colector de Bolsas
80.03	Embarque de Sacos	Manual	no	---	--	No se requiere
80.04	Transporte de Sacos	Bandas Continuas	no	---	--	No se requiere

TOMADO DE: PRONTUARIO DEL CEMENTO.

Otto Labahn. Editores Técnicos Asociados, S.A.
 Barcelona 1966

En la tabla 3D se determinan los tipos de operaciones y qué equipos las realizan, las emisiones que se producen así como su magnitud y los controles que usualmente son empleados.

CAPITULO 3.

DISEÑO DEL SISTEMA DE COLECCION DE POLVOS.

El sistema de Colección de polvos es aquel que se utiliza para poder remover las partículas contaminantes del flujo de aire. Está constituido por dos subsistemas básicos:

a) Sistema de Ventilación.

Encargado de conducir el flujo de aire cargado de polvo hacia el equipo de control. Está compuesto de las siguientes partes:

a.1) Campanas de Succión.

a.2) Ductería

a.3) Ventilador.

b) Sistema de Control.

Formado por el equipo que efectúa la captación del polvo.

De ésta manera, el Diseño del Sistema de Colección de Polvos consiste en determinar o seleccionar las partes integrantes, tanto del sistema de ventilación como del sistema de control, tomando en cuenta el costo de los materiales recuperados, la reducción de daños potenciales a los equipos y propiedades de la planta, así como costos de operación y mantenimiento; para

....

lo cual se deben de conocer las propiedades del gas, las características de las partículas, los equipos y procesos que originan las emisiones.

Con respecto a las características del gas, es importante mencionar las siguientes:

- Temperatura
- Presión
- Humedad
- Densidad
- Viscosidad
- Corrosividad
- Toxicidad
- Flamabilidad
- Gasto Volumétrico

Por ejemplo, las temperaturas que exceden los 180°F (3), deben considerarse para la elección del tipo de tela filtrante a utilizar en los colectores de bolsas. Por otra parte, la presencia de humedad o la condensación del vapor de agua puede causar taponamientos en la ductería, además de que en los colectores de bolsas, el material que contiene humedad se adhiera y no puede ser removido fácilmente. También es conveniente conocer la composición química ya que esta puede dañar la estructura del colector o atacar la tela de las bolsas, además puede originar condiciones extremadamente corrosivas al mezclarse diversos compuesto químicos con agua en los colectores de tipo húmedo.

Por otra parte es muy importante conocer la distribución de tamaños de las partículas, ya que ésta influye nota

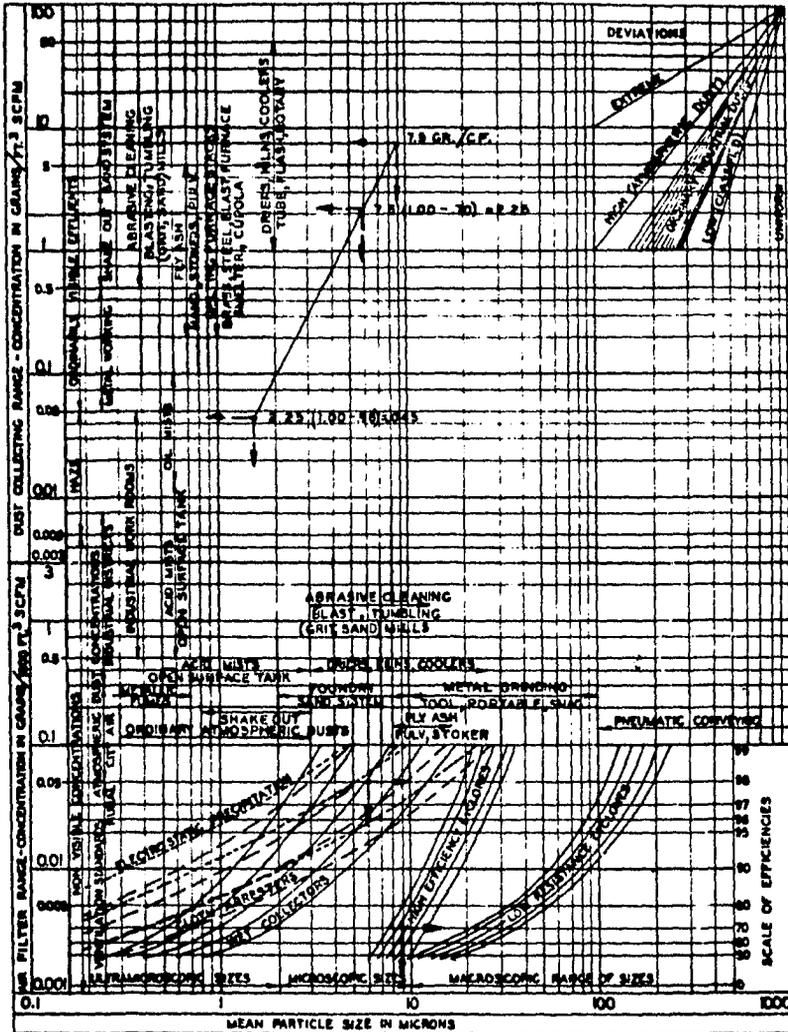
blemente en la eficiencia de colección de los equipos. En -
Sistemas de Transporte a baja presión, el rango usual del ta-
maño de partículas varía de 0.5 a 100 o más micras. La desvia-
ción del tamaño promedio variará con el material. Algunas in-
dicaciones del tamaño medio de las partículas se da en la ta-
bla 4.

Es importante señalar que las características físi-
cas y químicas del material también afectarán la selección -
del equipo de control. Así, por ejemplo, material pegajoso -
puede adherirse a los ductos y ocasionar taponamientos de la
tubería; materiales fibrosos se adhieren a cierto tipo de co-
lectores a las paredes.

La abrasividad de diversos materiales con poca o -
gran concentración puede causar el deterioro de los equipos -
de control así como al sistema de ventilación.

Ahora bien, para seleccionar el equipo de control -
de polvos y gases, es necesario cuantificar las emisiones que
se generan a lo largo del proceso de fabricación, así, por -
ejemplo, debido a las características propias de fabricación-
del cemento por vía seca, según se vió en el capítulo ante -
rior, se manejan polvos desde la primera fase de fabricación-
que es la trituración, hasta lograr el producto final, por lo
que todas las operaciones y manejos que se llevan acabo, pue-
den producir polvos, esto quiere decir, que todo el equipo -
que está relacionado con la fabricación y transporte del ce -
mento, generan polvos, Entre estos equipos vale la pena men -

....



Tomado de AMERICAN AIR FILTER CO. Inc.
 Compilado por S. Sylvan Abril 1952.

TABLA 4
 RANGO DE TAMAÑO DE
 PARTICULAS.

cionar los siguientes:

-TRITURADORAS: Que como su nombre lo indica, tritura el material grueso. Estas operan con material que aún contiene humedad de cantera, por lo que no necesita ningún equipo de control, pero cuando se trabaja con materias secas, las trituradoras, sean de conos, martillos, mandíbulas o rodillos, necesitan una aspiración para captar el polvo.

-LOS MOLINOS: Destinados a la molienda de fragmentos de menor tamaño que deben ser reducidos a granos finos.

-Los equipos de transporte como las bandas transportadoras, los deslizadores, los elevadores de cangilones, etc. en donde solo es necesario conectarlos al sistema de ventilación para aspirar el polvo que se genera en ellos.

Se recomienda que todos los equipos destapados a la atmósfera sean cubiertos previamente para lograr mayor eficiencia en la captación del polvo, aplicando una succión al aire de los equipos o los conductos por donde los gases con polvo circulan, creando una depresión que impide que el polvo tienda a salir al exterior.

3.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACION.-

Como en un principio se indicó, el sistema de Ventilación es el encargado de transportar el gas contaminado hacia el equipo de control, y está constituido por las siguientes partes:

- a) Campanas de Succión.

....

b) Ductería

c) Ventilador

mismos que a continuación se describen.

3.1.1 CAMPANAS DE SUCCION.-

Para un buen diseño, se requiere conocer la operación efectiva de las campanas de succión, de manera que puedan ser instaladas para succionar un volumen mínimo de aire y de esta forma lograr un mejor control de la contaminación del aire.

Para llevar a cabo esto, se debe procurar la eliminación o disminución del movimiento del aire durante el proceso de fabricación y después proseguir con la captura del polvo contaminante por medio de las campanas de succión. El gasto de succión, debe de ser lo suficientemente grande para mantener la velocidad de captura necesaria para vencer a la corriente del aire que se opone, para de esta forma lograr succionar el polvo hacia el equipo de control. Al disminuir el movimiento del aire, el cual es el primer paso del diseño de las campanas, también se ve reducido el volumen de aire a aspirar así como el correspondiente consumo de energía.

Entre las principales causas del movimiento del aire que deben considerarse en el diseño se encuentran:

- Corrientes térmicas del aire producidas por procesos térmicos o de operaciones en las cuales se genera calor.
- Movimiento del equipo, como pueden ser las ban -

das transportadoras, trituradoras, etc.

- Movimiento del material.
- Lugares con refrigeración o ventilación.

Las formas de las campanas, tamaño, localización y rango del flujo de aire deben de considerarse en el diseño y deben de colocarse lo más cerca posible del material contaminante. (Fig5)

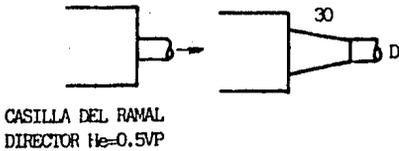
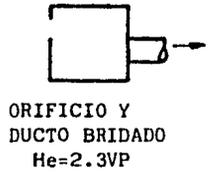
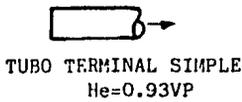
3.1.2 DISEÑO DE LA DUCTERIA.

Una vez seleccionadas las campanas de succión y de haber determinado el volúmen de gases a aspirar, así como la velocidad de transporte necesaria para prevenir los asentamientos de polvos, se calculan las dimensiones de los ramales de la ductería de acarreo mínimo recomendada. El diseñador deberá tener la siguiente información como paso preliminar:

- a) Arreglo general del equipo.
- b) Croquis que contenga las elevaciones de la ductería, localización del ventilador, colector, etc.
- c) Croquis de operación del sistema con dirección y elevación de salida y conexiones a la tubería.
- d) Longitud de la ductería, codos, uniones, contracciones.

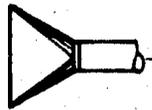
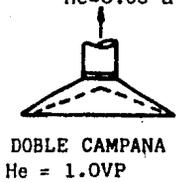
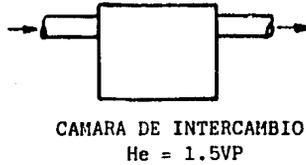
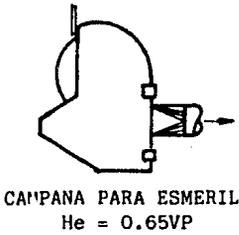
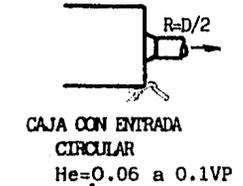
Una vez recopilada la información anterior, es necesario de -

....

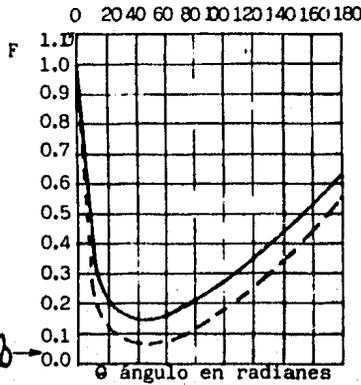


PERDIDAS POR ENTRADA

	CIRCULAR	RECTANGULAR
15°	0.15VP	0.25VP
30°	0.08VP	0.16VP
45°	0.06VP	0.15VP
60°	0.08VP	0.17VP
90°	0.15VP	0.25VP
120°	0.26VP	0.35VP
150°	0.40VP	0.40VP



CAMPANAS CONICAS



TRADUCIDO Y
Tomado de INDUSTRIAL VENTILATION
American Conference of Governmental
Industrial Hygienists. 1978

FIGURA No. 5
CAMPANAS DE SUCCION
PERDIDAS POR ENTRADA

terminar el diámetro de la tubería así como las pérdidas por fricción ocasionados en la misma para determinar la potencia del ventilador.

3.1.2.1 DETERMINACION DE LOS DIAMETROS DE LA DUCTERIA.

Las dimensiones de la ductería se determinan de una forma muy simple y teniendo gran exactitud en los cálculos - con solo haber elegido el gasto de aire y la velocidad de entrada en la ductería.

Para poder obtener una operación más económica, los sistemas de control de polvo, deben ser diseñados para manejar el menor volumen de aire requerido para llevar acabo la - colección del polvo en una forma más eficiente. La experiencia ha demostrado (4) que el polvo flotante en el aire puede ser conducido al mantener una velocidad de 200 FPM al romper el estado de reposo del material. Multiplicando esta velocidad del flujo por el área total en pies cuadrados de todas - las aberturas de los equipos que producen polvo se obtiene el gasto de aire requerido, esto es:

$$Q = A V$$

Tambien se ha observado empíricamente que la suspensión en - que se encuentran las partículas de polvo, se rompe al tener en la entrada a la ductería principal, una velocidad entre - 4000 y 5000 FPM (4). Si se tienen polvos muy finos, con una -

....

velocidad de 3500 FPM a la entrada, es suficiente, pero por otro lado, si se tienen polvos gruesos, se requerirán hasta 6000 FPM.

Para seleccionar el diámetro comercial adecuado, se puede utilizar la tabla 5, empleando la columna de la velocidad de entrada hasta encontrar el volumen de aire requerido. La columna de la izquierda da el diámetro del ducto que se recomienda utilizar.

3.1.2.2 PERDIDAS POR LONGITUD.

Todos los sistemas de aspiración, ya sean simples o compuestos, constan de los mismos elementos:

- Campanas de Succión
- Ductería
- Ventilador

siendo así, que los sistemas complejos están formados por la unión de varios sistemas simples conectados a una tubería en común. Siempre, en los sistemas de aspiración, debe empezarse por el lugar más retirado a estimarse las pérdidas por longitud, que sería la campana de succión, y continuar el análisis hacia el ventilador.

Se debe determinar a continuación la longitud requerida de ductería junto con el tipo y la longitud equivalente de las conexiones y codos utilizados. La longitud se mide por la línea central a lo largo de la tubería, teniendo especial cuidado en los codos. La longitud equivalente de las conexio-

....

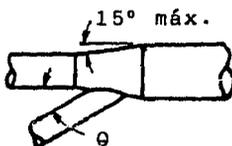
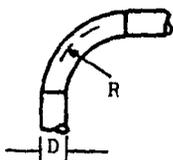
TABLA No. 5

VOLUMEN DE AIRE EN LA DUCTERIA.

DIAMETRO Pulgadas	AREA ft ²	VELOCIDAD F.P.M.			
		3000 ft 0.561 in	3500 ft 0.764 in	4000 ft 0.998 in	4500ft 1.262 in
4	0.087	262	306	349	393
4½	0.110	331	387	442	496
5	0.136	409	478	546	614
5½	0.165	495	578	660	743
6	0.196	589	687	786	884
7	0.267	802	936	1069	1202
8	0.349	1047	1222	1396	1570
9	0.442	1325	1546	1767	1988
10	0.545	1636	1909	2182	2454
11	0.660	1980	2310	2640	2970
12	0.785	2356	2749	3142	3534
13	0.922	2765	3226	3687	4148
14	1.069	3207	3742	4276	4811
15	1.227	3682	4295	4909	5522
16	1.396	4189	4887	5585	6283
17	1.576	4729	5517	6305	7093
18	1.767	5301	6185	7068	7952
19	1.969	5907	6892	7876	8861
20	2.182	6545	7636	8727	9818
21	2.405	7216	8419	9621	10824
22	2.640	7919	9239	10559	11879
23	2.885	8656	10098	11541	12983
24	3.142	9425	10996	12566	14137
25	3.409	10226	11931	13635	15340
26	3.687	11061	12905	14748	16592
27	3.976	11928	13916	15904	17892
28	4.276	12828	14966	17104	19242
29	4.587	13761	16054	18348	20641
30	4.909	14726	17180	19635	22089
31	5.241	15724	18345	20966	23486
32	5.585	16655	19548	22340	25133
33	5.940	17819	20787	23758	26728
34	6.305	18915	22068	25220	28373
35	6.681	20044	23385	26727	30066
36	7.069	21206	24740	28274	31809
37	7.467	22400	26133	29867	33600
38	7.876	23627	27565	31503	35441
39	8.296	24887	29035	33183	37331
40	8.727	26180	30543	34906	39270

TOMADO Y TRADUCIDO REF. 3

TABLA No. 6
LONGITUD EQUIVALENTE, en ft.



D	CODO 90°*			ANGULO DE ENTRADA	
	1.5D	2.0D	2.5D	30°	45°
3"	5	3	3	2	3
4"	6	4	4	3	5
5"	9	6	5	4	6
6"	12	7	6	5	7
7"	13	9	7	6	9
8"	15	10	8	7	11
10"	20	14	11	9	14
12"	25	17	14	11	17
14"	30	21	17	13	21
16"	36	24	20	16	25
18"	41	28	23	18	28
20"	46	32	26	20	32
24"	57	40	32		
30"	74	51	41		
36"	93	64	52		
40"	105	72	59		
48"	130	89	73		

Tomado INDUSTRIAL VENTILATION
American Conference of Governmental
Industrial Hygienists. 1978.

*Para codos de 60° - 0.67 x pérdida por 90°

Para codos de 45° - 0.50 x pérdida por 90°

Para codos de 30° - 0.33 x pérdida por 90°

nes especiales como los codos, es mayor que la longitud original y para determinarla se utiliza la tabla 6.

También utilizando la tabla 7 se puede determinar la pérdida de presión debida a todos los componentes del sistema. Esta pérdida de presión es la llamada presión estática y se obtiene de la ecuación de Bernoulli y Continuidad.

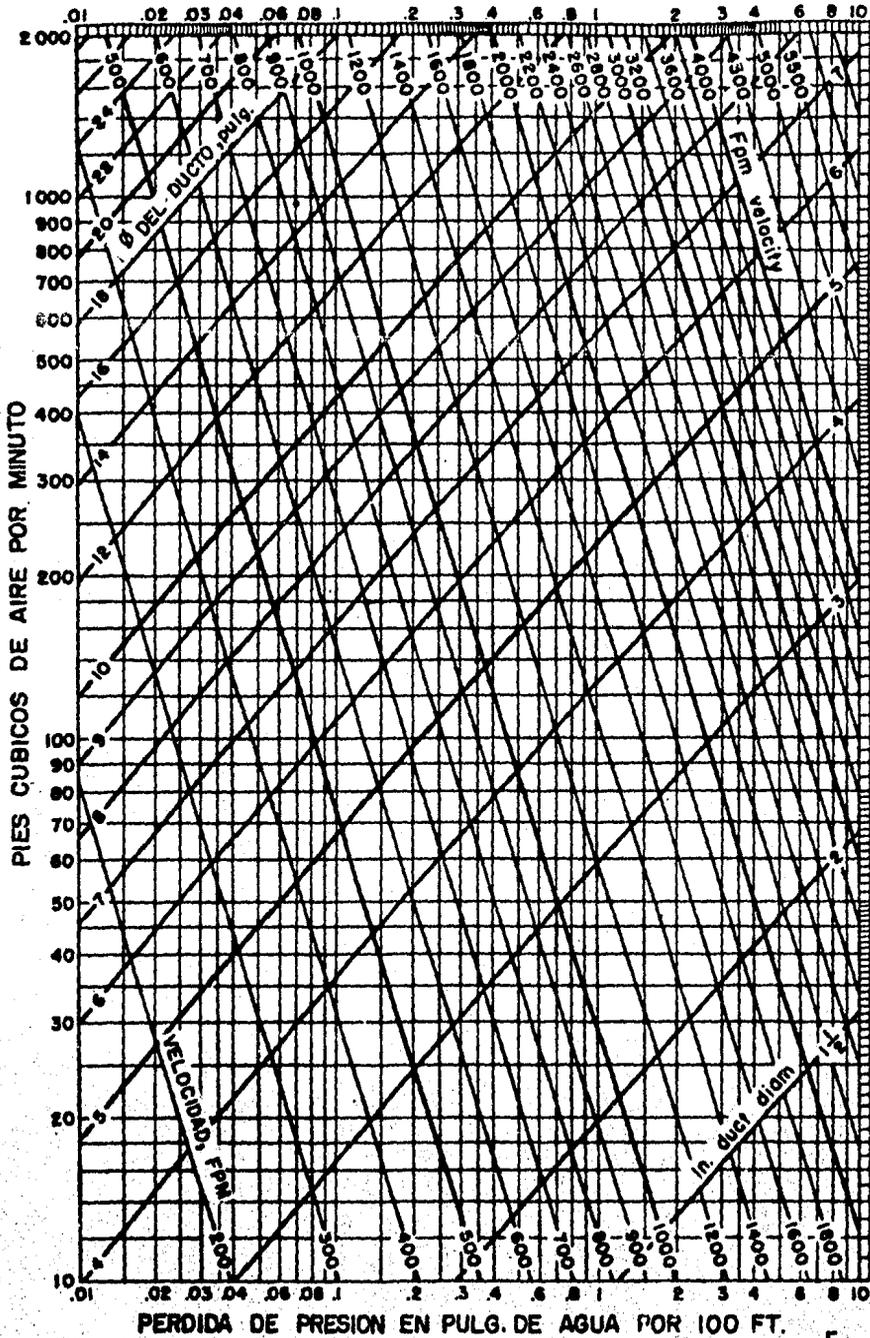
3.1.2.3 DISTRIBUCION DEL AIRE.

En los sistemas complejos que contienen múltiples ramales, es necesario hacer una distribución del flujo de aire en la ductería, ya sea balanceando el sistema o utilizando compuertas.

Este balanceo se lleva acabo debido a que el aire toma siempre el camino de menor resistencia, es decir, que se hace una distribución natural del aire de acuerdo a la resistencia que se presenta durante el trayecto.

El diseñador debe tener la seguridad de que el flujo de aire en cada campana de succión y durante todo el trayecto, se presente la misma resistencia al flujo o igual presión estática. Para llevar acabo este balanceo, existen dos métodos:

- a) Sistema balanceado sin compuertas
(Método A)
- b) Sistema balanceado mediante compuertas (Método B)



PERDIDA DE PRESION EN PULG. DE AGUA POR 100 FT.

(Based on Standard Air of 0.075 lb per cu ft density flowing through average, clean, round,

galvanized metal ducts having approximately 40 joints per 100 ft.)

Caution: Do not extrapolate below chart.

For proprietary duct, obtain data from manufacturer. Friction of Air in

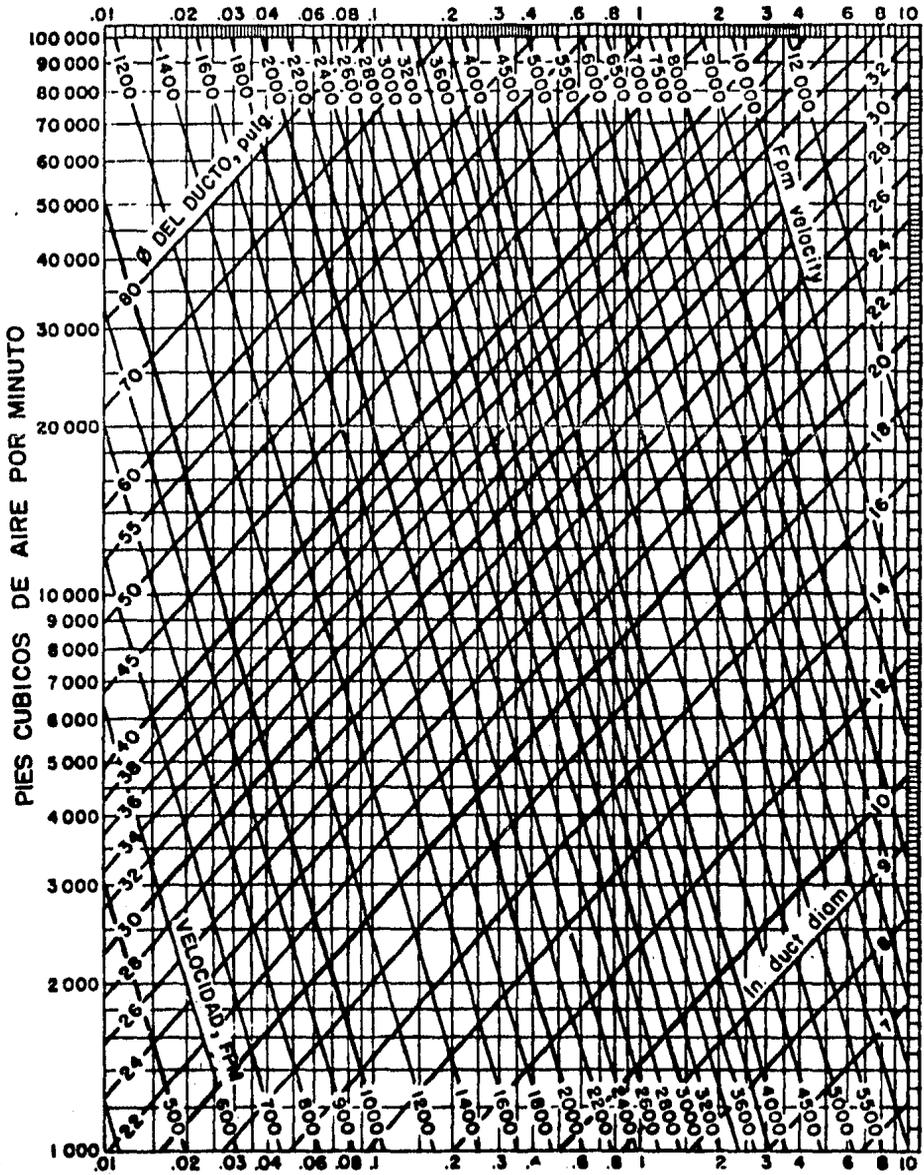
Straight Ducts for Volumes of 10 to 2000 Cfm

$$\frac{\text{PERDIDA POR FRICCIÓN}}{100 \text{ PIES}} = \frac{2.74 \left[\frac{V_{\text{FPM}}}{1000} \right]^{1.9}}{\left[D_{\text{pulg}} \right]^{1.22}}$$

(Ref. 130)

Note: Both "1.9" and "1.22" are exponents.

TABLA 7A. PERDIDA DE PRESION ESTATICA POR FRICCIÓN, en pulg. H₂O/100ft.



PERDIDA DE PRESION EN PULG. DE AGUA POR 100 FT.

based on Standard Air of 0.075 lb per cu ft density flowing through average, clean, round, galvanized metal ducts having approximately 40 joints per 100 ft.)

proprietary duct, obtain data from manufacturer. Friction of Air in Straight Ducts for Volumes of 1000 to 100,000 Cfm
 printed from 37th Edition, Heating, Ventilating, Air Conditioning Guide, 1959, by permission
 of the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

$$\text{PERDIDA POR FRICCION, } \frac{2.74 \left[\frac{V \text{ fpm}}{1000} \right]^{1.9}}{100 \text{ PIES}} \left[\frac{D \text{ pulg.}}{1.22} \right]$$

(Ref. 130) Note: Both "1.9" and "1.22" are exponents.

TABLA 7B. PERDIDA DE PRESION ESTATICA POR FRICCION, en pulg. H₂O/100ft.

TABLA 7C. CARGA DE VELOCIDAD PARA DIFERENTES VELOCIDADES

de $V = 4005$ VP

V = Velocidad en FPM.

VP= Carga de velocidad en pulg. H₂O

VP	V	VP	V								
0.01	401	0.52	2888	1.03	4065	1.54	4970	2.05	5734	3.10	7052
0.02	566	0.53	2916	1.04	4084	1.55	4986	2.06	5748	3.20	7164
0.03	694	0.54	2933	1.05	4104	1.56	5002	2.07	5762	3.30	7275
0.04	801	0.55	2970	1.06	4123	1.57	5018	2.08	5776	3.40	7385
0.05	896	0.56	2997	1.07	4143	1.58	5034	2.09	5790	3.50	7493
0.06	981	0.57	3024	1.08	4162	1.59	5050	2.10	5804	3.60	7599
0.07	1060	0.58	3050	1.09	4181	1.60	5066	2.11	5818	3.70	7704
0.08	1133	0.59	3076	1.10	4200	1.61	5082	2.12	5831	3.80	7807
0.09	1202	0.60	3102	1.11	4220	1.62	5098	2.13	5845	3.90	7909
0.10	1266	0.61	3128	1.12	4238	1.63	5113	2.14	5859	4.00	8010
0.11	1328	0.62	3153	1.13	4257	1.64	5129	2.15	5872	4.10	8110
0.12	1387	0.63	3179	1.14	4276	1.65	5145	2.16	5886	4.20	8208
0.13	1444	0.64	3204	1.15	4295	1.66	5160	2.17	5900	4.30	8305
0.14	1499	0.65	3229	1.16	4314	1.67	5176	2.18	5913	4.40	8401
0.15	1551	0.66	3254	1.17	4332	1.68	5191	2.19	5927	4.50	8496
0.16	1602	0.67	3278	1.18	4351	1.69	5207	2.20	5940	4.60	8590
0.17	1651	0.68	3303	1.19	4369	1.70	5222	2.21	5954	4.70	8683
0.18	1699	0.69	3327	1.20	4387	1.71	5237	2.22	5967	4.80	8775
0.19	1746	0.70	3351	1.21	4406	1.72	5253	2.23	5981	4.90	8865
0.20	1791	0.71	3375	1.22	4424	1.73	5268	2.24	5994	5.00	8955
0.21	1835	0.72	3398	1.23	4442	1.74	5283	2.25	6008	5.10	9045
0.22	1879	0.73	3422	1.24	4460	1.75	5298	2.26	6021	5.20	9133
0.23	1921	0.74	3445	1.25	4478	1.76	5313	2.27	6034	5.30	9220
0.24	1962	0.75	3468	1.26	4495	1.77	5328	2.28	6047	5.40	9307
0.25	2003	0.76	3491	1.27	4513	1.78	5343	2.29	6061	5.50	9393
0.26	2042	0.77	3514	1.28	4531	1.79	5358	2.30	6074	5.60	9478
0.27	2081	0.78	3537	1.29	4549	1.80	5373	2.31	6087	5.70	9562
0.28	2119	0.79	3560	1.30	4566	1.81	5388	2.32	6100	5.80	9645
0.29	2157	0.80	3582	1.31	4584	1.82	5403	2.33	6113	5.90	9728
0.30	2194	0.81	3605	1.32	4601	1.83	5418	2.34	6126	6.00	9810
0.31	2230	0.82	3627	1.33	4619	1.84	5433	2.35	6140	6.10	9892
0.32	2266	0.83	3649	1.34	4636	1.85	5447	2.36	6153	6.20	9972
0.33	2301	0.84	3671	1.35	4653	1.86	5462	2.37	6166	6.30	10052
0.34	2335	0.85	3692	1.36	4671	1.87	5477	2.38	6179	6.40	10132
0.35	2369	0.86	3714	1.37	4688	1.88	5491	2.39	6192	6.50	10211
0.36	2403	0.87	3736	1.38	4705	1.89	5506	2.40	6205	6.60	10289
0.37	2436	0.88	3757	1.39	4722	1.90	5521	2.41	6217	6.70	10367
0.38	2469	0.89	3778	1.40	4739	1.91	5535	2.42	6230	6.80	10444
0.39	2501	0.90	3799	1.41	4756	1.92	5550	2.43	6243	6.90	10520
0.40	2533	0.91	3821	1.42	4773	1.93	5564	2.44	6256	7.00	10596
0.41	2564	0.92	3841	1.43	4790	1.94	5578	2.45	6269	7.50	10968
0.42	2596	0.93	3862	1.44	4806	1.95	5593	2.46	6282	8.00	11328
0.43	2626	0.94	3883	1.45	4823	1.96	5607	2.47	6294	8.50	11676
0.44	2657	0.95	3904	1.46	4839	1.97	5621	2.48	6307	9.00	12015
0.45	2687	0.96	3924	1.47	4856	1.98	5636	2.49	6320	9.50	12344
0.46	2716	0.97	3044	1.48	4872	1.99	5650	2.50	6332	10.00	12665
0.47	2746	0.98	3965	1.49	4889	2.00	5664	2.60	6458	11.00	13283
0.48	2775	0.99	3985	1.50	4905	2.01	5678	2.70	6581	12.00	13874
0.49	2804	1.00	4005	1.51	4921	2.02	5692	2.80	6702	13.00	14440
0.50	2832	1.01	4025	1.52	4938	2.03	5706	2.90	6820	13.61	14775
0.51	2860	1.02	4045	1.53	4954	2.04	5720	3.00	6937	14.00	14995

TABLA 7D.

**AREAS Y CIRCUNFERENCIAS
DE DIAMETROS COMERCIALES**

DIAMETRO EN PULGADAS	AREA		CIRCUNFERENCIA	
	PULGADAS	PIES	PULGADAS	PIES
	CUADRADAS	CUADRADOS	PULGADAS	PIES
1	0.7854	0.0054	3.1416	0.2618
1½	1.767	0.0123	4.712	0.3927
2	3.14	0.0218	6.28	0.5236
2½	4.910	0.0341	7.854	0.6544
3	7.07	0.0491	9.42	0.7854
3½	9.620	0.0668	11.00	0.9164
4	12.57	0.0873	12.57	1.047
4½	15.90	0.1105	14.14	1.178
5	19.63	0.1364	15.71	1.309
5½	23.76	0.165	17.28	1.439
6	28.27	0.1964	18.85	1.571
6½	33.18	0.2305	20.42	1.702
7	38.48	0.2673	21.99	1.833
7½	44.18	0.3068	23.56	1.964
8	50.27	0.3491	25.13	2.094
8½	56.75	0.3940	26.70	2.225
9	63.62	0.4418	28.27	2.356
9½	70.88	0.4923	29.85	2.487
10	78.54	0.5454	31.42	2.618
11	95.03	0.6600	34.56	2.880
12	113.1	0.7854	37.70	3.142
13	132.7	0.9218	40.84	3.403
14	153.9	1.069	43.98	3.665
15	176.7	1.227	47.12	3.927
16	201.0	1.396	50.26	4.189
17	226.9	1.576	53.41	4.451
18	254.4	1.767	56.55	4.712
19	283.5	1.969	59.69	4.974
20	314.1	2.182	62.83	5.236
21	346.3	2.405	65.97	5.498
22	380.1	2.640	69.11	5.760
23	415.4	2.885	72.26	6.021
24	452.3	3.142	75.40	6.283
25	490.8	3.409	78.54	6.545

siendo el objetivo de ambos métodos el de obtener la cantidad de flujo de aire deseado en cada campana de succión, tomando siempre en cuenta que se debe de conservar la velocidad de transporte o de arrastre del material para evitar los asentamientos. Los dos métodos mencionados se describen a continuación.

3.1.2.3.1 METODO A.

En este método, llamado frecuentemente "Método de presión estática Balanceado", se empieza el cálculo en el ramal de mayor resistencia que la mayoría de las veces es el más alejado o el que tiene mayor longitud de tubería, y después de seguir con todos los ramales hasta llegar al ramal principal y luego al ventilador. En todas las uniones se deben de considerar las pérdidas por entradas como un porcentaje de la carga de velocidad (Tabla 8) y aumentar estas pérdidas a la presión estática, para poder mantener en ésta forma la presión de succión que se necesita.

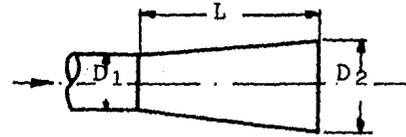
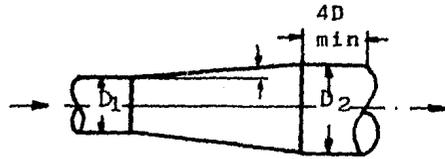
3.1.2.3.2 METODO B.

Este método depende del uso de válvulas o compuertas que son colocadas después de ser instalado el sistema y de esta forma garantizar el flujo de aire deseado en cada campana. En este método se empieza también el análisis en el ramal que presenta mayor resistencia y las pérdidas de presión son calculadas a través de los ramales hasta llegar al ventilador. El volumen deseado en cada ramal es sumado al gasto de

....

TABLA No. 8Ai

RECUPERACION DE PRESION ESTATICA POR EXPANSIONES



Dentro de la ductería

Angulo del cono en grados	D2/D1		
	1.25:1	1.5:1	2:1
3½	0.92	0.88	0.81
5	0.88	0.84	0.76
10	0.85	0.76	0.63
15	0.83	0.70	0.55
20	0.81	0.67	0.48
25	0.80	0.65	0.44
30	0.79	0.63	0.41
90	0.77	0.62	0.40

Al final de la ductería

Long.cono/ Diam.int.	D2/D1				
	1.2:1	1.3:1	1.4:1	1.5:1	1.6:1
1.0:1	0.37	0.39	0.38	0.35	0.31
1.5:1	0.39	0.46	0.47	0.46	0.44
2.0:1	0.42	0.49	0.52	0.52	0.51
3.0:1	0.44	0.52	0.57	0.59	0.60
4.0:1	0.45	0.55	0.60	0.63	0.63
5.0:1	0.47	0.56	0.62	0.65	0.66
7.5:1	0.48	0.58	0.64	0.68	0.70

Tomada INDUSTRIAL VENTILATION
American Conference of Governmental
Industrial Hygienists. 1978.

TABLA No. 8Aii

PERDIDA DE PRESION ESTATICA POR CONTRACCIONES.

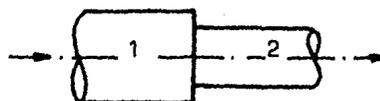
$$PS_2 = PS_1 - (CV_2 - CV_1) - L(CV_2 - CV_1)$$



Contracción Cónica

Angulo del cono en grados	Pérdida L
5	0.05
10	0.06
15	0.08
20	0.10
25	0.11
30	0.13
45	0.20
60	0.30
+60	Contracción Abrupta.

$$PS_2 = PS_1 - (CV_2 - CV_1) - K(CV_2)$$

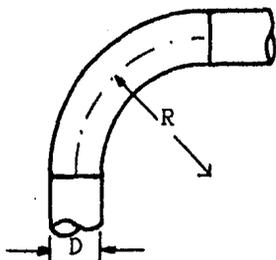


Contracción abrupta

A ₂ /A ₁	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

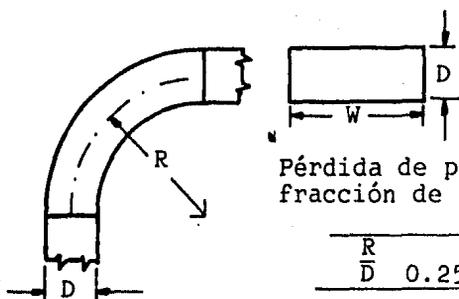
A = Area del ducto en ft².

Tomada INDUSTRIAL VENTILATION. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. 1978.



CODOS CIRCULARES

R, No. de Diámetros	Pérdida, fracción de carga velocidad
2.75 D	0.26
2.50 D	0.22
2.25 D	0.26
2.00 D	0.27
1.75 D	0.32
1.50 D	0.39
1.25 D	0.55



Pérdida de presión estática, fracción de la carga de velocidad.

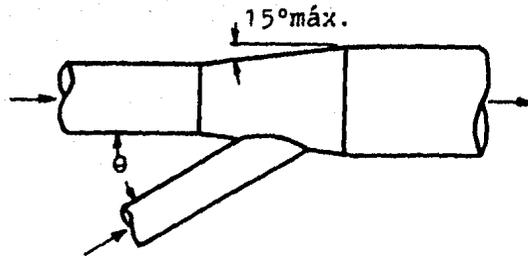
$\frac{R}{D}$	Relación W/D					
	0.25	0.50	1.00	2.00	3.00	4.00
0.0	1.50	1.32	1.15	1.04	0.92	0.86
0.5	1.36	1.21	1.05	0.95	0.84	0.79
1.0	0.45	0.28	0.21	0.21	0.20	0.19
1.5	0.28	0.18	0.13	0.13	0.12	0.12
2.0	0.24	0.15	0.11	0.11	0.10	0.10
3.0	0.24	0.15	0.11	0.11	0.10	0.10

CODOS CUADRADOS Y RECTANGULARES

Tomado INDUSTRIAL VENTILATION.
American Conference of Governmental
Industrial Hygienists. 1978

TABLA No. 8B

PERDIDA DE PRESION ESTATICA
POR CODOS.



Tomado INDUSTRIAL VENTILATION
 American Conference of Governmental
 Industrial Hygienists. 1978.

Angulo θ en grados	Pérdida de presión, Fracción de la carga de velocidad.
10	0.06
15	0.09
20	0.12
25	0.15
30	0.18
35	0.21
40	0.25
45	0.28
50	0.32
60	0.44
90	1.00

TABLA 8C
 PÉRDIDA DE PRESION ESTATICA
 POR ENTRADAS.

la tubería principal, pero durante todo el procedimiento no se balancea la presión estática en las uniones, las cuales son solo dimensionadas para dar la velocidad mínima y el gasto deseado en la tubería. Se debe de tener especial cuidado en la selección del ramal de mayor resistencia.

3.1.2.3.3 SELECCION DEL METODO.

El método A deberá seleccionarse cuando se utilizan materiales altamente tóxicos, explosivos o fibrosos, por lo cual no deben de colocarse compuertas ya que no existe la posibilidad de acumularse en la ductería ningún material, solo en el caso que se detenga el ventilador.

Por el contrario, el método B solo debe utilizarse con material que no pueda acumularse en las compuertas. Esto se aplicará en los sistemas donde el diámetro de los ramales sea mayor que en el ducto principal. Este método tampoco es recomendable si el material es abrasivo, como en el caso del cemento ya que erosionaría las compuertas.

3.1.2.4 PROCEDIMIENTO DE BALANCEO.

La resistencia de cada ramal se calcula de acuerdo a los datos de diseño y la longitud de la ductería, utilizando la ecuación de Bernoulli. Si la diferencia de presión estática es considerable (cerca del 20%), el ramal con pérdida de presión menor será rediseñado para incrementar la caída de presión. Para llevar a cabo esto, es conveniente el disminuir

....

el tamaño de la tubería del ramal o incrementar la velocidad en el mismo, lo que aumentaría las pérdidas durante el trayecto, esto significa que si en caminos paralelos, la pérdida de presión estática gobernante, se puede lograr el balance del sistema al incrementar el flujo de aire a través de la tubería con menor resistencia. Este incremento en el gasto se calcula como:

$$\text{Gasto corregido} = \text{Gasto Diseño} \left(\frac{\text{Presión estática de mayor pérdida}}{\text{Presión estática de menor pérdida}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

y el incremento de pérdida de presión se calcula como:

$$P = (\text{Volúmen aspirado})^2$$

3.1.2.5 CORRECCIONES POR CAMBIOS DE VELOCIDAD.

En muchos lugares dentro del sistema de aspiración existen cambios de velocidad debido a las limitaciones que existen por la disponibilidad de tamaños de diámetros comerciales o por el utilizar el Método Balanceado (A) donde el diámetro de cada ramal es diseñado de acuerdo a los diámetros disponibles comercialmente.

Automáticamente el sistema se balancea cuando está bien diseñado y usando accesorios adecuados, pero aún así, se pueden presentar aceleraciones y desaceleraciones de las partículas y por tanto del flujo de aire debido a la fricción que se presenta en la ductería ocasionada por la velocidad, -

además de las pérdidas por entrada y cambios de dirección del flujo.

Algunas veces puede suceder que la velocidad en la tubería principal sea mayor que las dos velocidades que trae el flujo en los ramales, en estos casos, es necesario producir presión estática adicional para poder aumentar la carga de velocidad.

Para corregir estas diferencias entre la carga de velocidad en la línea principal y la resultante de los dos ramales, primero se calcula la carga de velocidad resultante (V_{pr}) como sigue:

$$V_{pr} = \frac{(Q_1 + Q_2)^2}{4005(A_1 + A_2)}$$

donde: V_{pr} = Carga de velocidad resultante del volúmen de aire proveniente de los ramales.

Q_1 = Gasto en el ramal No.1

Q_2 = Gasto en el ramal No.2

A_1 = Area del ducto del ramal No.1

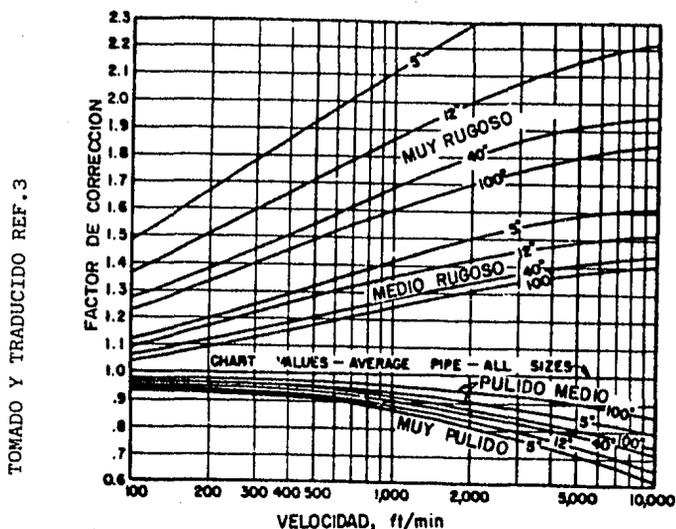
A_2 = Area del ducto del ramal No.2

3.1.2.6 CORRECCIONES PARA DUCTOS DE DIFERENTES MATERIALES.

De las gráficas mostradas para pérdida de presión (Tabla 7), se obtienen valores promedios para ductos de metal limpios y galvanizados, con 10 uniones por cada 100 pies, uti

....

FIG. 6 FACTORES DE CORRECCION PARA DUCTOS DE DIFERENTES MATE-RIALES.



ALTTUD, ft.	NIVEL DEL MAR												
	-1000	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10,000		
Barometer °Hg	31.02	29.92	28.86	27.82	26.82	25.84	24.90	23.98	23.09	22.22	21.39	20.58	
Barometer °Wg	422.2	407.5	392.8	378.6	365.0	351.7	338.9	326.4	314.3	302.1	291.1	280.1	
TEMPERATURA	-40	1.31	1.26	1.22	1.17	1.13	1.09	1.05	1.01	0.97	0.93	0.90	0.87
	0	1.19	1.15	1.11	1.07	1.03	0.99	0.95	0.91	0.89	0.85	0.82	0.79
	40	1.10	1.06	1.02	0.99	0.95	0.92	0.88	0.85	0.82	0.79	0.76	0.73
	70	1.04	1.00	0.96	0.93	0.89	0.86	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71	0.69
	100	.98	0.95	0.92	0.88	0.85	0.81	0.78	0.75	0.73	0.70	0.68	0.65
	150	.90	0.87	0.84	0.81	0.78	0.75	0.72	0.69	0.67	0.65	0.62	0.60
	200	.83	0.80	0.77	0.74	0.71	0.69	0.66	0.64	0.62	0.60	0.57	0.55
	250	.77	0.75	0.72	0.70	0.67	0.64	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54	0.51
	300	.72	0.70	0.67	0.65	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54	0.52	0.50	0.48
	350	.68	0.65	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54	0.52	0.51	0.49	0.47	0.45
	400	.64	0.62	0.60	0.57	0.55	0.53	0.51	0.49	0.48	0.46	0.44	0.42
	450	.60	0.58	0.56	0.54	0.52	0.50	0.48	0.46	0.45	0.43	0.42	0.40
	500	.57	0.55	0.53	0.51	0.49	0.47	0.45	0.44	0.43	0.41	0.39	0.38
550	.54	0.53	0.51	0.49	0.47	0.45	0.44	0.42	0.41	0.39	0.38	0.36	
600	.52	0.50	0.48	0.46	0.45	0.43	0.41	0.40	0.39	0.37	0.35	0.34	
700	.47	0.46	0.44	0.43	0.41	0.39	0.38	0.37	0.35	0.34	0.33	0.32	
800	.44	0.42	0.40	0.39	0.37	0.36	0.35	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	
900	.40	0.39	0.37	0.36	0.35	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27	
1000	.37	0.36	0.35	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25	

DENSIDAD DEL AIRE A NIVEL DEL MAR = 0.075 lb/ft³

TABLA 9. FACTORES DE CORRECCION POR TEMPERATURA Y ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR.

Tomado y Traducido Ref. 3

lizando aire ambiente con 0.075 lb/ft^3 de densidad, por esta razón, la figura No.6 da factores de corrección dependiendo de la rugosidad, tamaño y velocidad. Estos factores se multiplican por los valores obtenidos en la tabla 7.

3.1.2.7 CORRECCIONES POR TEMPERATURA Y ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR.

Los cambios en la temperatura así como la altura sobre el nivel del mar influyen en el diseño de la tubería, porque el aire es un gas compresible y estos factores hacen que cambie su volumen. También es importante considerarlos en el diseño del ventilador, ya que al variar el volumen, aumenta o disminuye la presión estática. Todas las tablas presentadas son bajo condiciones de 1 atmósfera, por lo que cuando ocurren variaciones considerables en la densidad del aire, la presión estática debe corregirse. Para esto se utiliza la tabla No.9.

3.1.3 DISEÑO DEL VENTILADOR.

Un ventilador es una turbomáquina que absorbe energía mecánica y la transforma en energía de movimiento de un gas, incrementando la presión de tal forma que el influjo de la compresibilidad puede desprejarse. Por esta razón, en el diseño y operación de un ventilador, el gas se supone incompresible (5).

Los ventiladores se clasifican en:

....

- a) Ventiladores Centrífugos. En los cuales el flujo es perpendicular al eje del rodete del motor.
- b) Ventiladores Axiales. El flujo es paralelo al eje de la flecha del motor.

Información necesaria para la Selección del Ventilador.-

1.) Volúmen requerido o gasto de los gases.

2.) Presión estática del ventilador.

3.) Tipo de material que se va a manejar por el ventilador:

a) Para material fibroso, aire cargado, etc., deberá seleccionarse un ventilador del tipo de hoja radial.

b) Para aire acondicionado se debe seleccionar un ventilador centrífugo o de flujo axial de acuerdo a la presión que se maneje.

c) Para material explosivo o inflamable, debe utilizarse como material de construcción del tipo que no sea inflamable. El motor del ventilador debe de ser a prueba de explosión.

4.) Limitantes de espacio

5.) Temperatura de operación

6.) Eficiencia. Depende de las tablas del fabricante que se elija.

7.) Corrosividad. Este factor determinará el material con el

que se fabricará el ventilador: placa de acero, acero inoxidable, cobre, aluminio, etc.

Una vez obtenida esta información, se selecciona el ventilador que más se apegue a las características dadas por el fabricante, tratando siempre de obtener la mayor eficiencia. El fabricante también indicará el caballaje recomendado para el motor del ventilador. Se recomienda utilizar aspas radiales en el ventilador, debido a que el material se acumularía en la parte interna de los álabes o partes de sujeción de las mismas, ocasionando que se reparta mal el peso y se desbalancee el ventilador.

3.2 DISEÑO DE COLECTOR.-

Como anteriormente se mencionó, durante la trituración, molienda por vía seca, transportación, secado, etc., es decir, en todas las secciones de la fabricación del cemento, con excepción de los molinos de pasta por vía húmeda, se producen polvos. Este produce molestias en el personal que labora en la planta y ocasiona problemas de contaminación alrededor de la misma, además, como ya se ha mencionado, se originan pérdidas de material no despreciable.

El equipo de control de partículas se fabrica en una gran cantidad de diseños, utilizando para esto varios principios de operación. Para una buena selección del equipo de control, debe considerarse la eficiencia requerida, costo ini

cial de operación y mantenimiento, el espacio disponible, los materiales de construcción, así como el equipo complementario, accesorios, etc.

El Equipo de Control puede clasificarse en 4 grandes grupos:

- 1) Separadores Inerciales
- 2) Separadores por Vía Húmeda
- 3) Filtros de Bolsas
- 4) Precipitadores Electrostáticos

misimos que a continuación se describen.

3.2.1 SEPARADORES INERCIALES.

Este equipo de control es de los más utilizados para la captación de partículas de tamaño grande y medio. Su construcción es relativamente simple y con un bajo costo inicial.

Su operación consiste en generar una fuerza centrífuga que arroja a la partícula de polvo hacia la periferia de la corriente de aire, haciendo deslizarla por las paredes del Colector hasta separar las partículas de polvo del gas.

Los Separadores Inerciales se clasifican en dos grupos de acuerdo a la efectividad con que remueven las partículas finas:

- a) Colectores Ciclónicos
 - b) Colectores Centrífugos de alta eficiencia
- teniendo ambos las siguientes características:

- Son los más económicos de los colectores actualmente utili-

zados tanto en su diseño, construcción e instalación, así como mantenimiento y operación.

- Ocupa poco espacio.
- No necesita suministro de energía, excepto de la que se requiere para mover el gas a través del colector.
- Puede utilizarse como colector primario, con lo cual se pueden obtener mejores eficiencias en otro tipo de colectores - como los de filtros y precipitadores electrostáticos.

A continuación se dan las características principales de esta clase de colectores.

3.2.1.1 COLECTORES CICLONICOS.

El separador ciclónico solo separa partículas de tamaño medio de 15 a 40 micras eficientemente. El polvo con partículas de tamaño entre 5 a 10 micras es demasiado fino para ser captado eficientemente.

Se consideran tres grupos de ciclones:

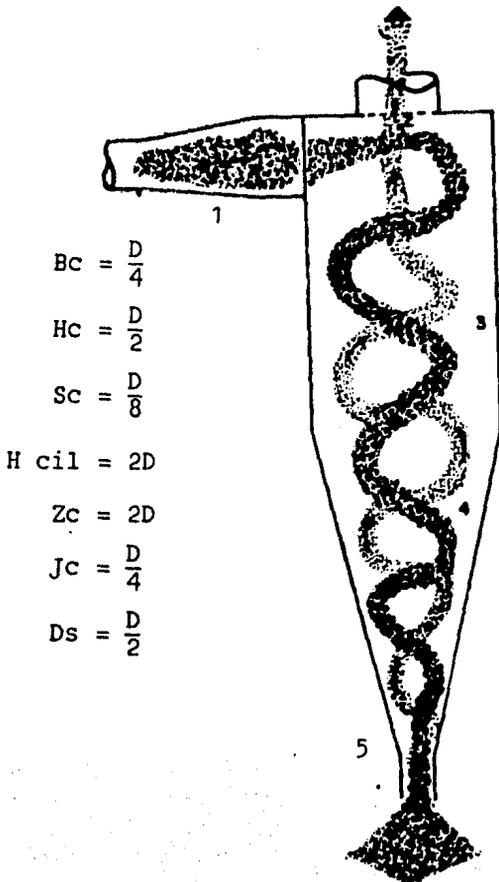
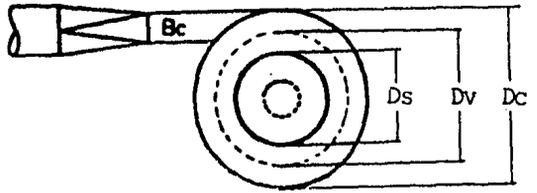
- a) Los grandes ciclones con un diámetro superior a 1500 mm.
- b) Los ciclones medios con un diámetro de 400 mm a 1500 mm.
- c) Los ciclones pequeños con un diámetro inferior a 400 mm.

el límite de la separación de los grandes ciclones corresponde a un tamaño de partículas de 20 micras; en los pequeños - (de unos 400 mm) conectados en paralelo, a los cuales se les llama multiciclones, pueden captar hasta partículas de 5 micras con una eficiencia considerada alta.

Los ciclones están formados por un cuerpo cilíndri-

....

- 1.- Entrada del Gas
- 2.- Salida del gas limpio
- 3.- Cuerpo cilíndrico
- 4.- Cuerpo Cónico
- 5.- Descarga de partículas



$$B_c = \frac{D}{4}$$

$$H_c = \frac{D}{2}$$

$$S_c = \frac{D}{8}$$

$$H_{cil} = 2D$$

$$Z_c = 2D$$

$$J_c = \frac{D}{4}$$

$$D_s = \frac{D}{2}$$

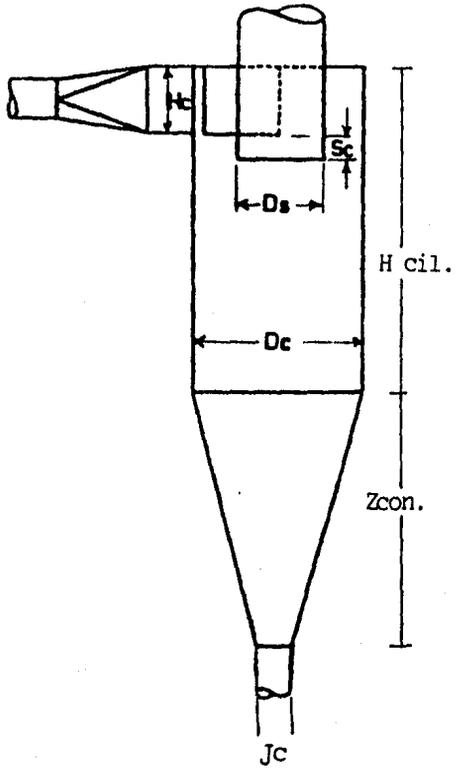


FIG. 7
COLECTOR CICLONICO
DIMENSIONES Y OPERACION

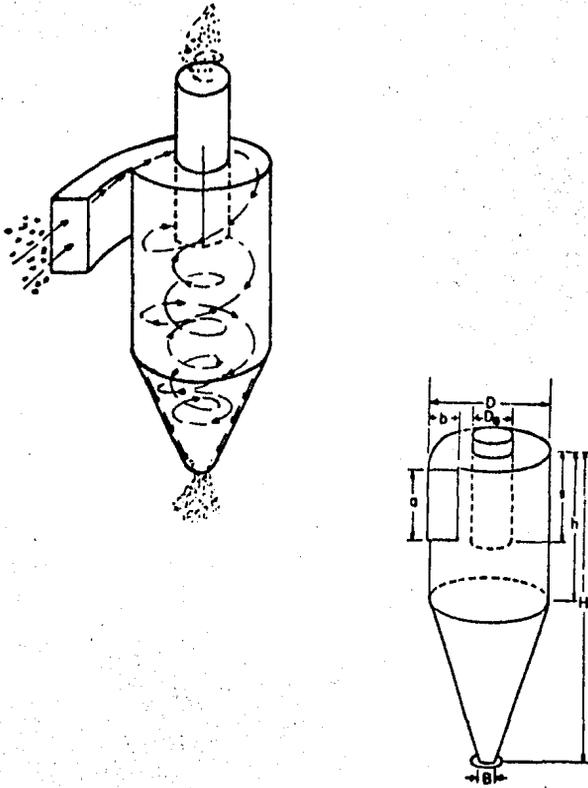


FIG. 8

COLECTOR CICLONICO
DIMENSIONES Y OPERACION

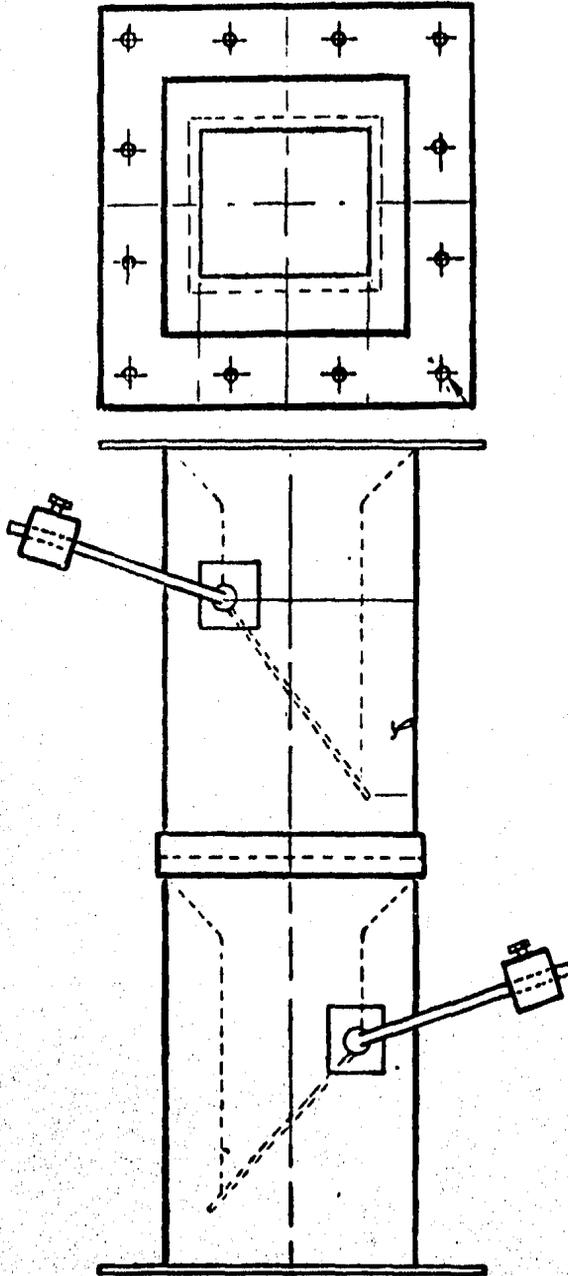
co o a veces cónico, teniendo en su parte inferior una terminación en forma de embudo. Los gases entran en el ciclón tangencialmente por su parte superior y salen por un conducto situado en el centro, el cual es regulado en el sentido vertical como se muestra en la figura 7. Pueden trabajar por succión o a presión. Al entrar los gases cargados de polvo en dirección tangencial, las partículas se proyectan contra la pared debido a la fuerza centrífuga, las partículas se deslizan hacia la salida. Los gases que no contienen gran cantidad de polvo, salen por el tubo central.

Los Ciclones sencillos, por su grado de separación son insuficientes para las necesidades actuales debido a que se requieren manejar grandes volúmenes de aire, por esta razón, su eficiencia puede ser aumentada al colocar colectores en serie o utilizando baterías de pequeños ciclones.

Debe de tenerse cuidado con la salida del polvo, ya que esta debe de ser hermética para no permitir la entrada de aire al ciclón, lo cual disminuirá su eficiencia. Por esta razón deberá colocarse una válvula de doble contrapeso (Fig.9).

Típicamente la pérdida de presión en el ciclón es de 150 mm. de columna de agua para una presión barométrica de 760 mm, $V_e=20$ m/s y temperatura de 20°C (2). Si varían estas condiciones se utiliza la siguiente expresión:

$$\Delta P = 0.4 V_e^2$$



Tomado ATMOS, S.A.

FIG. 9.
VALVULA DE DOBLE
CONTRAPESO

donde: Δp = Pérdida de presión estática en mm de Columna de agua.

V_e = Velocidad de entrada en m/s.

γ = Peso específico del aire en Kg/m^3 .

Las dimensiones del ciclón se pueden determinar en función del diámetro mayor del cilindro (Fig.7). Para determinar el diámetro mayor del cilindro D_c , se utiliza la siguiente expresión (6):

$$D_c = 0.0502 \frac{Q \rho_f^2 (1-b/D)}{\mu \rho_p (a/D)(b/D)^{2.2}} 0.454$$

donde: Q = Gasto/ton/h en CFM.

ρ_f = Densidad en lb-m/ft^3 del fluido.

ρ_p = Densidad de la partícula, lb/ft^3 .

μ = Viscosidad del gas

a/D y b/D son constantes que se obtienen de la tabla 10 (6).

Las demás dimensiones son función del diámetro mayor D_c .

3.2.1.2 CICLONES DE ALTA EFICIENCIA.

Para poder mejorar la eficiencia de colección de las partículas en un rango de tamaño de 5 a 10 micras, se recomienda aumentar la longitud del cuerpo y disminuir el diámetro del ciclón. Con estas dos modificaciones en el diseño au-

TABLA No. 10

FACTORES DE DISEÑO PARA COLECTORES CICLONICOS.
(Entrada Tangencial).

TERMINO	DESCRIPCION	ALTA EFICIENCIA			DISEÑO GENERAL	
		Stairmand	Swift	Lapple	Swift	Peterson
D	Diámetro del cuerpo	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
a	Altura de la boca de entrada.	0.5	0.44	0.5	0.5	0.583
b	Ancho de la boca de entrada.	0.2	0.21	0.25	0.25	0.208
S	Longitud de la salida	0.5	0.5	0.625	0.6	0.583
De	Diámetro de salida	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5
h	Altura del cilindro	1.5	1.4	2.0	1.75	1.333
H	Altura Total	4.0	3.9	4.0	3.75	3.17
B	Diámetro de salida del polvo.	0.375	0.4	0.25	0.4	0.5

Tomado del AIR POLLUTION CONTROL ENGINEERING
William Licht, 1980

equipos son muy costosos.

- Reducido espacio para su instalación.
- Alta eficiencia de colección.

Existe una gran cantidad de diseños de Colectores Húmedos, dependiendo del mecanismo que utilizan para eliminar el polvo del gas, siendo los principales:

- 1.) Humedeciendo las partículas con gotas de agua.
- 2.) Inundando la superficie de colección con agua y haciendo que las partículas húmedas o secas se impregnen y puedan ser removidas.

a continuación se describen los principales métodos para humedecer las partículas.

3.2.2.1 METODOS DE HUMEDECIMIENTO DE LAS PARTICULAS.

Las partículas pueden ser humedecidas por los siguientes mecanismos:

- a) Impregnación por rociado de gotas de agua.

Se efectúa un rociado dirigido hacia la trayectoria de las partículas de polvo impregnándolas, para de esta forma aumentar el peso de las mismas y que caigan. Johnston y Roberts han establecido que el tamaño óptimo de las gotas de agua debe de ser de 100 micras (7).

- b) Difusión.

Cuando las partículas de agua son dispersadas entre las partículas de polvo, estas se depositan en las primeras debido al movimiento Browniano o difusión. Este es el principal mecanismo de captura de partículas submicrónicas.

c) Condensación.

Consiste en disminuir la temperatura por abajo de la de rocío para provocar un cambio en la materia del estado gaseoso al líquido, lo cual ocasionaría que las partículas de polvo caerían al condensarse la humedad que contiene el gas de transporte. Este mecanismo de humedecimiento solo se recomienda para gases que son calentados inicialmente.

Cuando el flujo de aire tiene una temperatura elevada y no está saturado de humedad, el proceso de evaporización reduce el volumen del aire así como la temperatura con la que deja el colector. Esta situación es muy importante ya que al disminuir la temperatura y volumen de aire, el diseño del ventilador será de menor capacidad y por lo tanto de menor potencia que si no tuviera sistema de enfriamiento.

3.2.2.2 CLASIFICACION DE LOS COLECTORES HUMEDOS.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (Environmental Protection Agency, EPA) clasifica a los colectores húmedos en 10 tipos diferentes:

- Lavadores de plato.
- Lavadores de Filtro Macivo.
- Lavadores por tela
- Lavadores de rociado
- Lavadores de gas atomizado
- Lavadores centrífugos
- Lavadores de flujo conducido

....

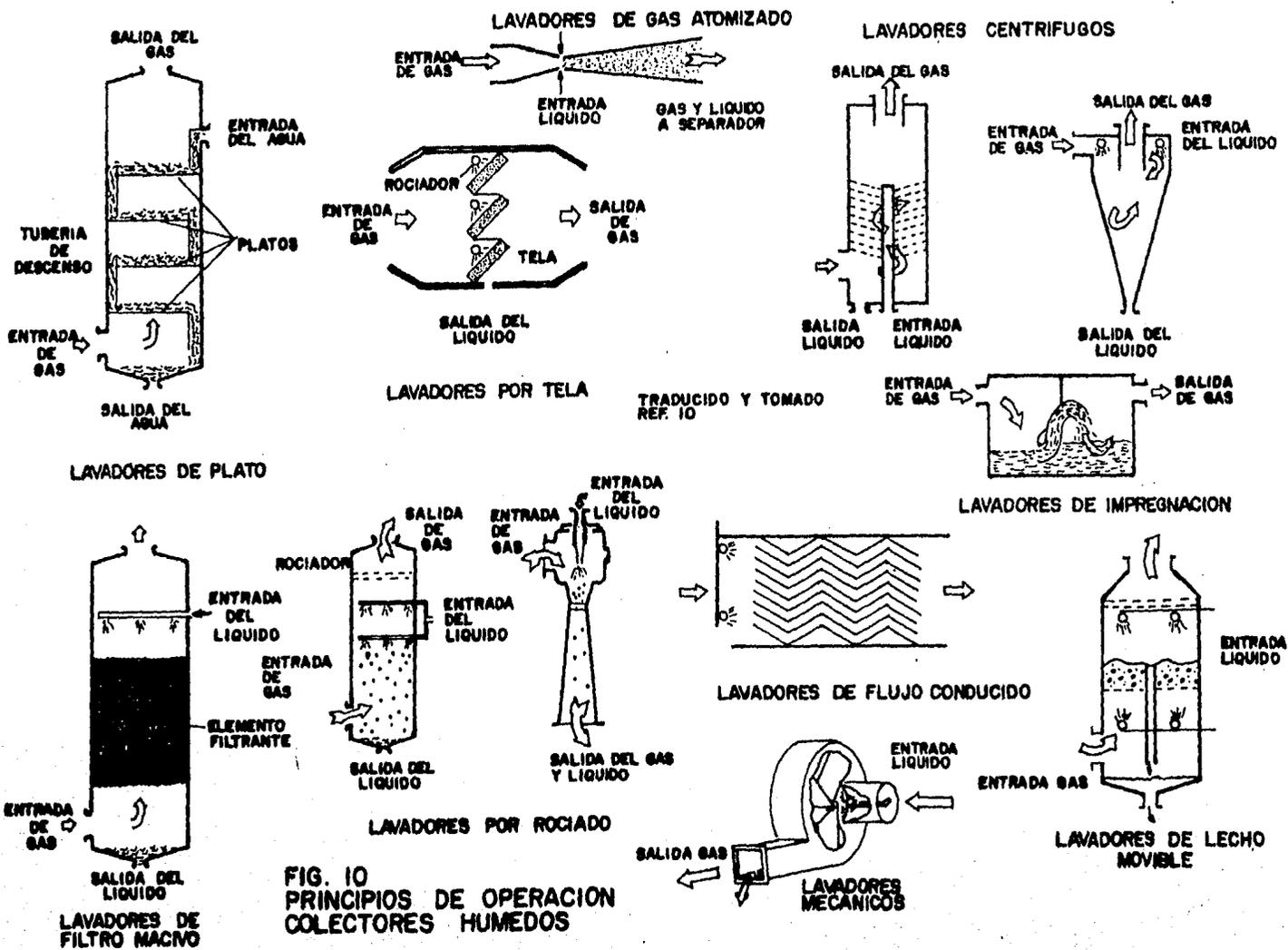


FIG. 10
 PRINCIPIOS DE OPERACION
 COLECTORES HUMEDOS

- Lavadores de Impregnación
- Lavadores Mecánicos
- Lavadores de lecho movable.

cuyos principios de operación se muestran en la fig.10

Por otra parte, a continuación se describen los principales Colectores Húmedos que se utilizan en la Industria del Cemento.

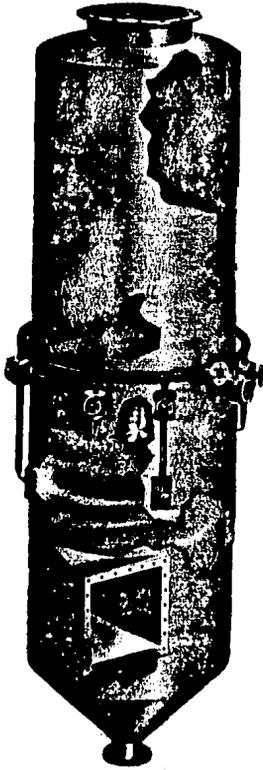
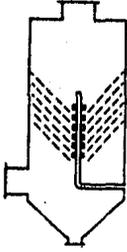
a) Cámaras de Rociado. Este equipo de limpieza consta de una cámara en la cual se colocan mangueras de rociado. La velocidad del flujo disminuye al entrar en la cámara y las partículas se sedimentan y son colocadas en la parte baja de la cámara. Estas cámaras son utilizadas como enfriadores del gas.

b) Lavadores Centrífugos. Consiste en un ciclón modificado con mangueras rociadoras. El mecanismo que también utiliza es el de la fuerza centrífuga. La eficiencia es función de la velocidad que se aplica al flujo de gas. La pérdida de presión varía de 2 a 8" de agua y el gasto de agua que se requiere para el rociado varía de 4 a 10 galones (7) por cada 1000 pies cúbicos por minuto de gas tratado.

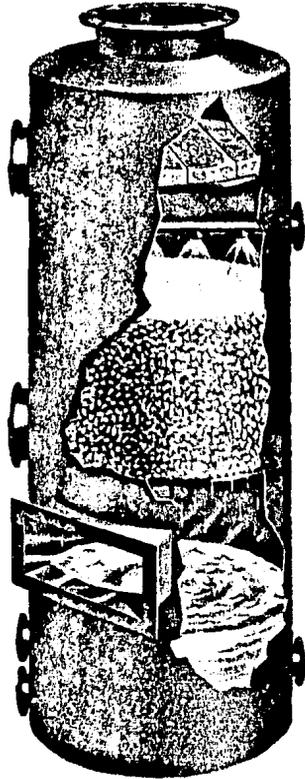
c) Precipitador dinámico Húmedo. Este tipo utiliza rociadores de agua colocados en un ventilador y logrando que las partículas de polvo se precipiten sobre la superficie mojada de las aspas de un ventilador (fig.11).

d) Colector tipo orificio. En este grupo de colectores de polvos húmedos, el flujo de aire es interrumpido al entrar en contacto con un depósito de agua en un pasaje cubierto. (fig. no.11)

....



LAVADOR CICLONICO



LAVADOR DE FILTRO MACIVO

FIG. II
COLECTORES HUMEDOS

TOMADO Y TRADUCIDO DE:
Air Pollution Industries, Inc.
145 Cedar lane, Englewood, N.J. 07631

menta el tiempo de retención en el ciclón y debido a que el diámetro es disminuído, la longitud de recorrido es menor, por lo que la fuerza centrífuga obliga a la partícula a tener mejor adherencia a las paredes del ciclón, por lo que se aumenta la eficiencia. En cuanto a su operación, ésta será más costosa debido a que al disminuir el diámetro del ciclón, hace que la velocidad aumente y por lo tanto la pérdida de presión sea mayor.

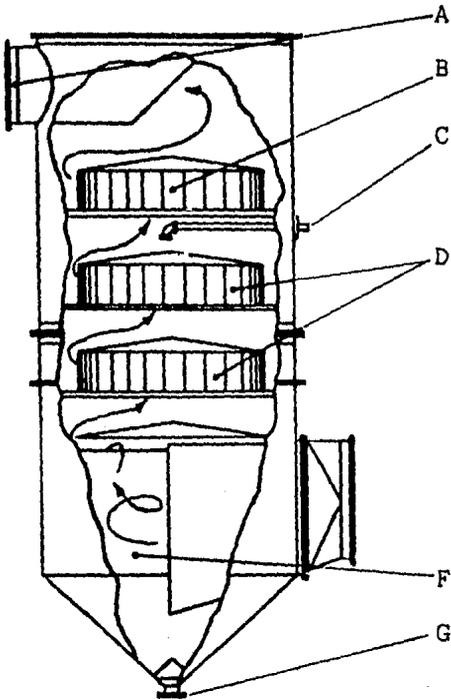
Otro separador ciclónico de alta eficiencia, es el llamado multiciclón, el cuál está formado por ciclones de pequeño diámetro operando en paralelo y teniendo en común la entrada y salida del flujo . El diámetro de los tubos de colección varía desde dos pulgadas hasta un pie. Se utilizan para lograr una eficiencia de colección mayor al 90% con partículas de 5 a 10 micras. Los multiciclones se diseñan de igual forma que los ciclones convencionales, solo basta dividir el gasto total entre el número de pequeños ciclones requeridos.

3.2.2 COLECTORES POR VIA HUMEDA.

Esta clase de equipo de control, presenta las siguientes ventajas:

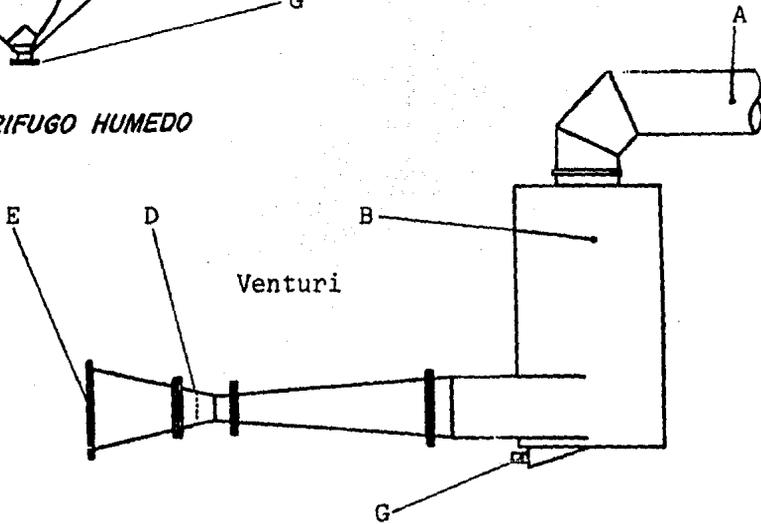
- Pérdida de presión constante a volúmen constante.
- Capacidad de manejar flúidos con altas temperaturas.
- Capacidad para manejar gases corrosivos y aerosoles, sin embargo los materiales utilizados en la fabricación de estos-

....



Simbolo	Parte
A	Salida del aire limpio
B	Separador
C	Entrada del agua
D	Plato de Choque
E	Entrada del aire contaminado
F	Ciclón humedo para la coleccion de material pesado.
G	Drenaje del lado y agua.

CENTRIFUGO HUMEDO

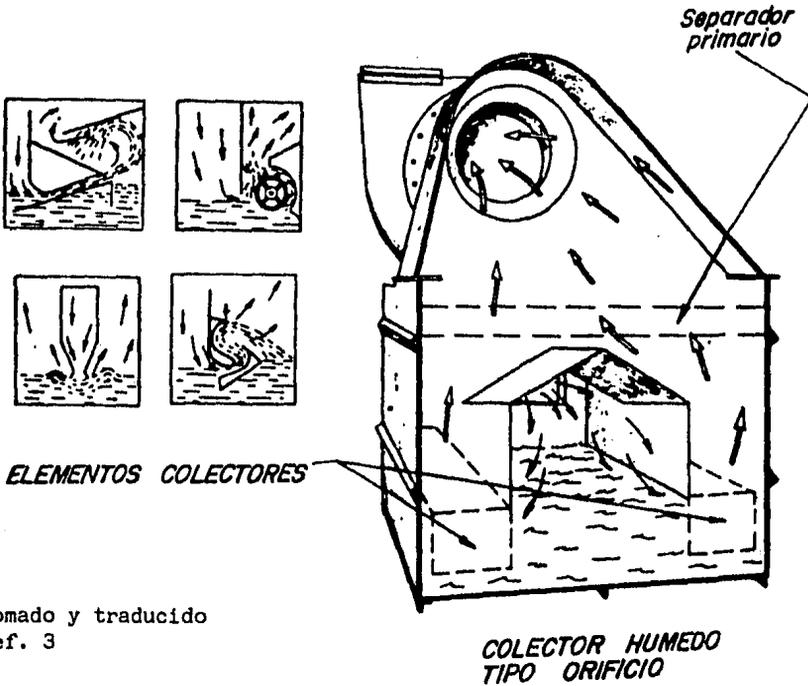


Venturi

LIMPIADOR VENTURI

Tomado y traducido
Ref 3.

FIG. 11B.
COLECTORES HUMEDOS



Tomado y traducido
Ref. 3

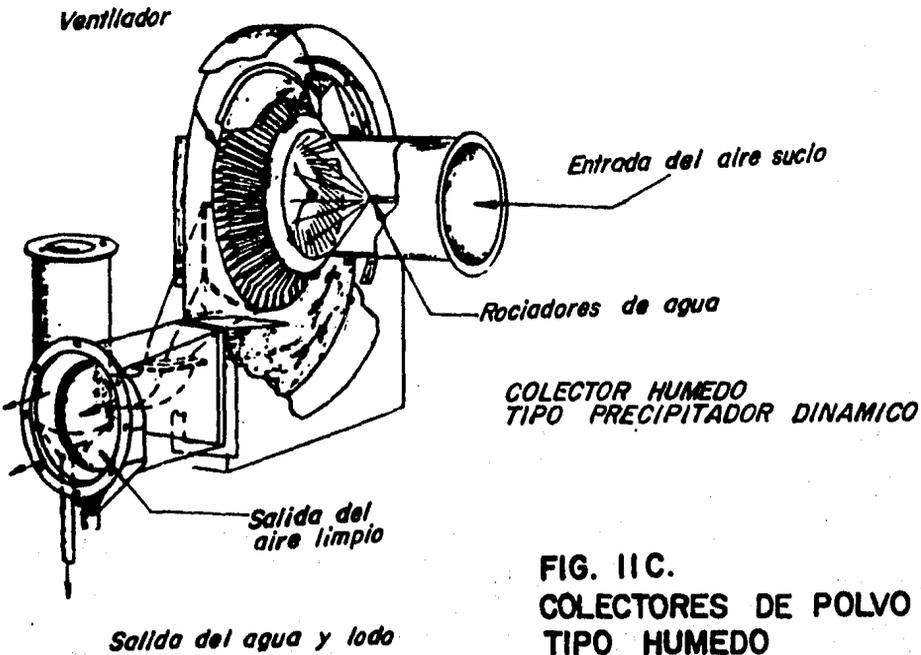


FIG. 11C.
COLECTORES DE POLVO
TIPO HUMEDO

e) Venturi. Este colector tiene a su entrada una contracción llamada venturi que logra aumentar la velocidad del fluido al estrecharse la sección. Se diseñan para alcanzar velocidades con un rango entre 12,000 y 24,000 FPM. El agua utilizada es de 5 a 15 galones por minuto por cada 1000 ft³/min. de gas. El mecanismo de colección utilizado es la impactación. Como todos los colectores húmedos, su eficiencia de colección se puede aumentar al incrementarse la pérdida de presión.

3.2.2.3 DISEÑO DE LOS COLECTORES HUMEDOS.

Muchos investigadores han tratado de definir los parámetros que influyen en la eficiencia de captación de los Colectores Húmedos. Como resultado de estos estudios, se ha aceptado que para un buen diseño, la eficiencia depende de la energía suministrada por cada CFM., es decir, que la energía proporcionada por el aire o el agua.

Debido a que el proceso de fabricación del Cemento por vía Húmeda, se utiliza poco en México, (solo hay tres plantas que lo emplean), el procedimiento de diseño no se tratará en este trabajo. En forma general se puede decir que la sección del cilindro debe calcularse de modo que los gases lleven una velocidad de 1.5 a 2m/s en su interior.

Otro aspecto importante en esta clase de colectores es que el polvo al colectarse por medio del agua, contamina a ésta, necesitándose costosas instalaciones para el tratamiento de las aguas, ocasionando que la captación por vía húmeda sea antieconómica, por esta razón, se recomienda no utilizar-

este sistema, para la limpieza de los gases de escape del horno, recomendándose únicamente su uso en el área de ensacado y molienda.

3.2.3 PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS.

El principio de operación en que se basan estos colectores, consiste en la habilidad de impartir una carga negativa a las partículas conducidas por el flujo de gas, causando después que las mismas se adhieran a un plato colector cargado con carga positiva (fig.12).

El uso de los Precipitadores Electroestáticos para los sistemas de captación de partículas ha crecido debido a las grandes ventajas que presenta, las cuales son enlistadas a continuación junto con sus desventajas.

a) Ventajas

1. Se pueden obtener altas eficiencias con partículas pequeñas. Estas eficiencias pueden exceder el 99% en algunos casos.
2. El polvo puede ser captado por vía seca, lo que facilita la recuperación del material y se evitan problemas de contaminación del agua.
3. La caída de presión y la temperatura es pequeña. La caída de presión en los precipitadores electroestáticos no exceden los 0.5" de columna de agua.
4. Son diseñados para operar continuamente con poco mantenimiento y para grandes períodos de tiempo.

....

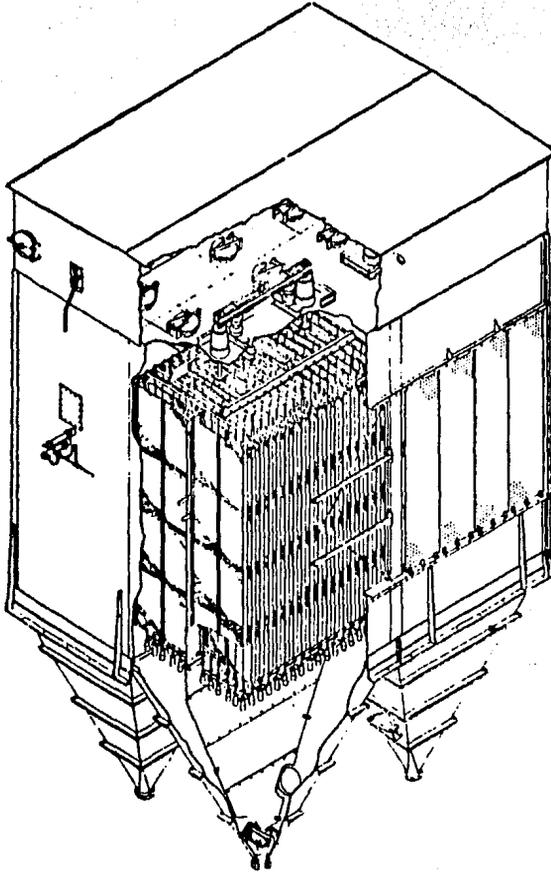


FIG. 12
PRECIPITADOR ELECTROSTATICO

Tomado de:
DESIGN, OPERATION AND MAINTENANCE OF HIGH
EFFICIENCY PARTICULATE CONTROL EQUIPMENT.
Conference on St. Louis, Missouri, 1973

5. Casi no hay partes en movimiento, por lo que se reducen los costos de mantenimiento.
6. Los precipitadores pueden ser utilizados con altas temperaturas. Temperaturas arriba de los 700°F son normales. Precipitadores especiales han sido diseñados para temperaturas de 1300°F, pero comunmente no se exceden los 1000°F. (7).
7. Los precipitadores pueden ser utilizados para captar - partículas de polvo ácido, las cuales son muy difíciles de colectar.
8. Se pueden captar partículas extremadamente corrosivas - para lo cual se emplean materiales de construcción especiales.
9. Se pueden manejar grandes volúmenes de gas contaminado.
10. La energía necesaria para manejar el flujo es poca. Por ejemplo, para limpiar 500,000 ft³/min. a un 95% de eficiencia, se utilizan 65 KW (7).

b) Desventajas

1. Costo inicial muy alto
2. No se pueden adaptar para condiciones variables de temperatura, volumen, etc.
3. Es extremadamente difícil colectar ciertos tipos de materiales, ya que tienen grandes o bajas conductividades.
4. El espacio requerido es más grande que el que necesita un colector de bolsas.

5. Debido al alto voltaje que manejan, deben tenerse precauciones especiales para dar seguridad al personal.

En cuanto al diseño, se han desarrollado ecuaciones empíricas por Anderson (1924), Walker y Coolidge (1953), Schmidt (1928) Deutsch (1922) y otros. Así, para precipitadores electrostáticos tipo plato, tenemos que la eficiencia de colección η se puede calcular como:

$$\eta = 1 - K^{ct} = 1 - K^{(CL/sV)} \quad \text{donde:}$$

$$C = c/s \quad ; \quad t = L/V \quad ; \quad V = Q/2ws$$

$$A = 2Lw$$

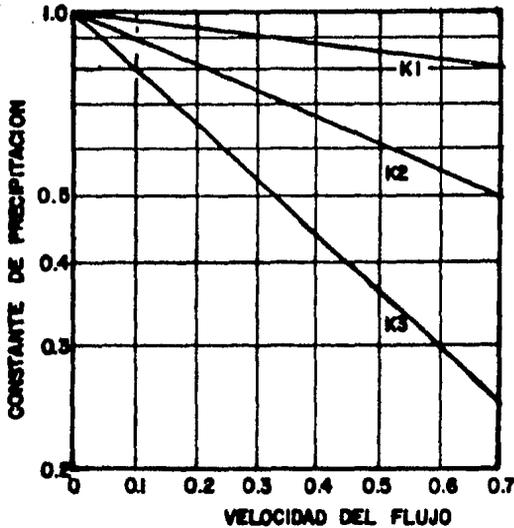
$$\eta = 1 - K^{(cAp/Q)}$$

- donde:
- A_p = Area del plato de colección, en ft^2
 - A = Area, en ft^2 del electrodo
 - c = Constante
 - s = Distancia entre electrodos de descarga y los electrodos de colección, en ft.
 - L = Longitud del electrodo de colección en la dirección del flujo, en ft.
 - V = Velocidad promedio en la dirección del flujo, en FPM.
 - W = Anchura del electrodo de colección, en ft.

....

FIG. 13

RELACION ENTRE LAS CONSTANTES DE PRECIPITACION Y LA VELOCIDAD



Tomado y traducido Ref. 7

Siendo las ecuaciones de eficiencia para Precipitadores:

$$\eta = 1 - K_1 \frac{3.2AP}{Q}$$

$$\eta = 1 - K_2 \frac{AP}{Q}$$

$$\eta = 1 - K_3 \frac{AP}{2Q}$$

$$\eta = 1 - e^{-w \frac{AP}{Q}}$$

donde:

η = Fracción en peso colectado

K = Constante del precipitador

AP = Area del electrodo de colección, ft^2

w = Velocidad, $ft/seg.$

Q = Gasto a través del precipitador, ft^3/seg

e = Base de los logaritmos neperianos.

Para precipitadores del tipo tubo también se han encontrado expresiones empíricas como las siguientes:

$$\eta = 1 - k^{(2CL/SV)}$$

$$V = \frac{Q}{s} \quad ; \quad A = 2 \cdot sL$$

$$\eta = 1 - k^{(cAp/Q)}$$

Para determinar las constantes involucradas en las expresiones anteriores, se utiliza la fig.13.

3.2.4 FILTROS DE BOLSAS.

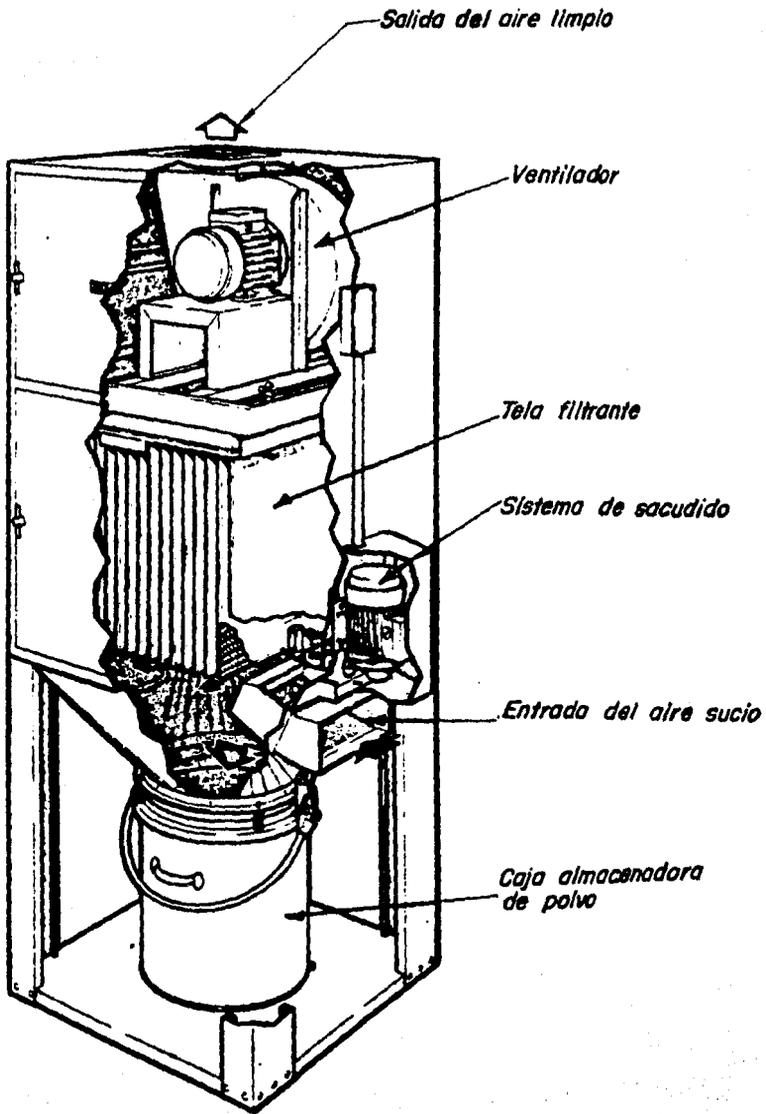
Este equipo se emplea principalmente para la captación del polvo en los molinos y aparatos transportadores en los cuales no se presentan temperaturas mayores a las que las bolsas puedan soportar, es decir, 100°C aproximadamente cuando se usan bolsas del tipo normal y unos 150°C si se emplean bolsas de tipo especial como se verá más adelante.

Con esta clase de colectores se obtienen grandes eficiencias a un costo medio para captar partículas grandes y pequeñas, y estas eficiencias también son mayores a las que se pueden obtener con Colectores Húmedos o el Precipitador Electrostático en la captación de partículas finas. (Fig.14).

3.2.4.1 PROCESO DE FILTRACION.

Las partículas pequeñas son capturadas inicialmente

....



Tomado y traducido
Ref. 3

FIG. 14
PARTES DEL COLECTOR
DE BOLSAS

y retenidas en las fibras de la tela por medio de tres procesos que a continuación se describen: Intercepción, Difusión e Impactación.

a) INTERCEPCION. Es el mecanismo de captación de partículas - basado en que las partículas pequeñas viajarán por las líneas de flujo, si ésta pasa cerca de un obstáculo y con una distancia igual al radio de la partícula, ésta se adherirá al obstáculo debido a las fuerzas de Van der Waals.

El parámetro de Intercepción R, relaciona el radio de la partícula con el diámetro de la fibra colectora como sigue:

$$R = \frac{D_p}{D_f} = \frac{\text{Diámetro de la Partícula}}{\text{Diámetro de la Fibra}}$$

La eficiencia de captación para una fibra sencilla (N_c), puede ser expresada mediante la siguiente ecuación (8) :

$$N_c = 1 + R - \frac{1}{1 + R}$$

b) IMPACTACION. Cuando una partícula tiene inercia apreciable y no sigue las líneas de flujo, cuando estas son desviadas de su trayectoria original al acercarse al obstáculo, la partícula tiende a chocar contra él, es decir, que el contacto entre la partícula y la superficie depende del tamaño e inercia de la partícula.

La impactación no es muy importante para partículas

....

menores de 1 micra de diámetro, sólo se considera significativa para partículas mayores a 2 micras de diámetro y es un factor predominante cuando aumenta el tamaño de las mismas.

La velocidad del flujo es importante en la impactación. De ésta forma, al aumentar esta, se incrementa la eficiencia. La única consideración que se hace es que la velocidad de la partícula es la misma que la velocidad del flujo, lo cual es aproximadamente cierto, pero debe tenerse cuidado, ya que si la velocidad es excesiva, las fuerzas de arrastre aumentan rápidamente y se puede exceder a las fuerzas de adherencia y las partículas no serán captadas, por lo que la eficiencia disminuye.

Se ha llegado a determinar el Número de Impacto N_I el cual se relaciona con la eficiencia de captación de las partículas y que se define como:

$$N_I = \frac{X_s}{D_d} = \frac{\rho_p K_c U_p}{18\mu g} \frac{D_p^2}{D_f} \quad \text{donde}$$

$$K_c = 1 + 0.172/D_p$$

donde: D_p = Diámetro de la partícula

D_f = Diámetro de la fibra

ρ_p = Densidad de la partícula

U_p = Velocidad de la partícula

μg = Viscosidad del gas

X_s = Distancia de detención de la partícula

....

El factor K_c es llamado factor de corrección de Cunningham - (8) y toma en cuenta la tendencia de las partículas pequeñas - abajo de $0.5 \mu\text{m}$ de diámetro, a ser afectadas por el choque de las moléculas del fluido. Este factor es muy grande para partículas mayores a $1 \mu\text{m}$ de diámetro (8).

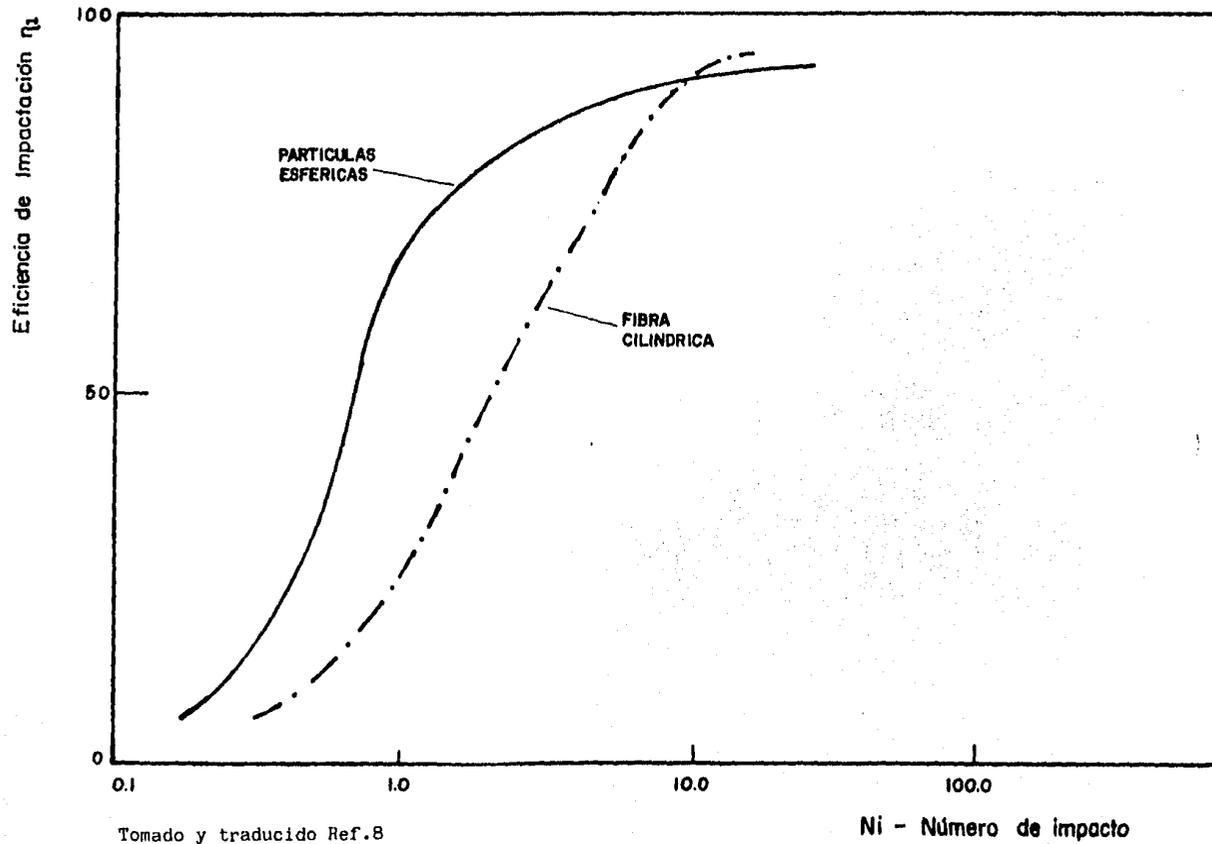
Para una eficiencia de captación de partículas por medio de fuerzas inerciales, la dirección del flujo puede cambiar rápidamente con una distancia desde el obstáculo, igual o menor que la distancia de detención de la partícula. Consideraciones teóricas indican que la eficiencia de colección, - para un tamaño de partícula, disminuye si se aumenta el tamaño del obstáculo.

Para determinar la eficiencia por impactación, se - utiliza la Fig.15.

c) DIFUSION. Cuando las partículas son muy pequeñas, es decir, de dimensiones iguales a una distancia intermolecular o menos que 0.1 a 0.2 micras de diámetro, la difusión es uno de los - principales mecanismos de depósito. Estas partículas pequeñas no siguen las líneas de flujo debido a que se ocasionan choques con las moléculas del gas, lo que origina el movimiento Browniano, es decir, un movimiento desorganizado de las partículas, lo que aumenta las posibilidades de contacto de estas con la superficie de colección. Las bajas velocidades del aire aumentan la eficiencia al incrementarse el tiempo disponible para presentarse la oportunidad de contacto. También se -

....

FIG. 15.
EFECTO DEL NUMERO DE IMPACTO EN LA
EFICIENCIA DE IMPACTACION



aumenta la eficiencia colocando obstáculos pequeños.

La eficiencia de captación de las partículas por medio de este mecanismo puede ser calculado con la siguiente expresión:

$$D = 2.854 \sigma_c \frac{D_p^2 (1 - \epsilon_p)}{K_u D_c (U'_{go})^2}$$

en donde el coeficiente de difusión se da como:

$$D_c = \frac{4KT}{3 \pi P D_p^2} \left(\frac{8RT}{\pi (MW_g)} \right)^{\frac{1}{2}}$$

siendo: σ_c = Coeficiente de enlace

C_p = Densidad de la partícula

K_u = Parámetro del gas

U'_{go} = Velocidad molecular media del gas

K = Constante de Boltzman

T = Temperatura del gas

MW_g = Peso molecular del gas

R = Constante Universal de los gases

P = Presión absoluta

D_p = Diámetro de la partícula

Por lo visto anteriormente, la eficiencia teórica total de captación de un filtro de bolsas, puede estimarse mediante la siguiente expresión:

$$\eta_T = 1 - (1 - \eta_I)(1 - \eta_C)(1 - \eta_D)$$

....

3.2.4.2 FACTORES PRACTICOS QUE MODIFICAN LA EFICIENCIA TEORICA.

A continuación se describen los principales factores que alteran la eficiencia obtenida teóricamente, como son:

a) Resistencia de la Tela limpia.

Se determina por las fibras de la tela y la manera en la cual están tejidas. De esta manera un tejido cerrado ofrece mayor resistencia que un tejido abierto con el mismo flujo de aire.

Una de las características de los colectores de bolsas es la permeabilidad, la cual se define como el volumen de aire que pasa a través de un pie cuadrado de tela nueva con una diferencial o caída de presión de 0.5" de columna de agua.

b) Resistencia por polvo.

Varios investigadores han relacionado el incremento en la resistencia del polvo o la combinación de polvo y la tela filtrante con la velocidad de filtración, viscosidad, densidad del gas, concentración de polvo y las características del mismo.

La eficiencia de limpieza total de una bolsa filtrante puede ser relacionada con la eficiencia de limpieza de una fibra simple, utilizando el concepto de "Unidad de Transferencia". Esta se define mediante la siguiente ecuación, donde una Unidad de Transferencia es equivalente aproximadamente al 63% de la eficiencia de limpieza. Es decir:

....

$$RE = 1 - \frac{Co}{Ci} = 1 - e^{-Nt}$$

para una unidad de transferencia:

$$RE = 1 - \frac{1}{e} = 1 - 0.37 = 0.63$$

- donde: RE= Eficiencia de limpieza
Co= Concentración de partículas fuera del filtro.
Ci= Concentración de partículas dentro - del filtro.
Nt= Número de Unidades de Transferencia
e= Número exponencial.

El número de Unidades de Transferencia puede relacionarse con la eficiencia de limpieza como se muestra en la tabla 11. El significado de este parámetro es que cada unidad representa - aproximadamente el mismo grado de dificultad para quitar o - limpiar el material filtrante de las partículas contaminantes. La energía requerida para desalojar el contaminante del material filtrante, está relacionado con los costos de capital y de operación del equipo de control, los cuales a su vez se relacionan con el número de Unidades de Transferencia. Se pueden graficar estos resultados con una curva de tendencia exponencial ascendente.

La expresión del Número de Transferencia en un fil-

TABLA No. 11

EFFECTO DE LAS UNIDADES DE TRANSFERENCIA
EN LA EFICIENCIA DE LIMPIEZA.

NUMERO DE UNIDADES DE TRANSFERENCIA (Nt)	EFICIENCIA DE LIMPIEZA (RE,%)
0.0	0.00
0.5	39.35
1.0	63.21
1.5	77.69
2.0	86.47
4.0	98.17
6.0	99.75

$$RE = 1 - C^{-Nt}$$

Tomado de PRINCIPLES AND APPLICATION
OF FABRIC FILTRATION. Dr. Hal Hooper
1980.

tro de bolsas puede ser expresado por el producto de dos términos:

$$Nt = f \cdot \eta_T$$

El término (η_T) se denomina parámetro de eficiencia de captación para una fibra. El término (f) es la constante que relaciona la eficiencia de colección de todo el filtro y una fibra. El término (f) se puede expresar como:

$$f = \left(\frac{4}{\pi Df}\right) \left(\frac{af}{1 - af}\right) X_t$$

donde: af = Densidad de las fibras.

X_t = Espesor total del filtro

El espesor total del filtro (X_t) es la suma del espesor de las fibras que forman a este, más el espesor del depósito de partículas, es decir:

$$X_t = X_{\text{filtro}} + X_{\text{depósito}}$$

después de varios ciclos de limpieza, el espesor del filtro se vuelve una constante, por lo que la captación de partículas viene a ser una función del espesor del depósito (X_d).

La ecuación de la eficiencia de limpieza se expresa por:

$$RE = 1 - e^{-f\eta t}$$

$$\eta t = 1 - (1 - \eta_I)(1 - \eta_C)(1 - \eta_D)$$

la eficiencia de limpieza o remoción de partículas de la bolsa filtrante viene siendo una función del tiempo por (X_c) y el material del filtro (Df , X_f y af).

a través del filtro solo puede expresarse como:

$$\frac{\Delta Pf}{Xf} = \frac{Us \mu g}{Kf}$$

donde: ΔPf = Caída de presión a través del filtro.

Xf = Espesor del filtro

Us = Velocidad del gas

μg = Viscosidad del gas

Kf = Coeficiente de permeabilidad del filtro.

El coeficiente de Permeabilidad (Kf) es un término que define la habilidad relativa de un filtro de permitir pasar a cierto grado, el flujo de gas para una caída de presión dada. El coeficiente de permeabilidad es una función de la porosidad específica del filtro, del área de contacto por unidad de superficie de la bolsa, granulometría, distribución del tamaño de poros del filtro, temperatura y humedad relativa.

La caída de presión a través del espesor del depósito, puede ser definida por una ecuación similar como la siguiente:

$$\frac{\Delta Pd}{Xd} = \frac{Us \mu g}{Kd}$$

donde: ΔPd = Caída de presión a través del depósito

Xd = Espesor del depósito de partículas

.....

K_d = Coeficiente de permeabilidad del depósito de partículas.

La caída de presión a través del depósito de partículas, variará con el espesor de éste (X_d) al transcurrir el tiempo. De ésta forma, la caída de presión Total a través del filtro se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}\Delta P_t &= \Delta P_f + \Delta P_d \\ \Delta P_t &= \left(\frac{\Delta P_f}{X_f}\right) X_f + \left(\frac{\Delta P_d}{X_d}\right) X_d \\ \Delta P_t &= \frac{\mu g U_s}{K_f} X_f + \frac{\mu g U_s}{K_d} X_d \\ \Delta P_t &= \mu g U_s \left(\frac{X_f}{K_f} + \frac{X_d}{K_d} \right)\end{aligned}$$

La cantidad de material colectado en el depósito de partículas, puede ser calculado como sigue:

$$\text{Cantidad Removida} = \text{Cantidad Colectada}$$

$$\text{MPM} = U_s A (C_i - C_o)t = \rho_d A X_d$$

donde: MPM = Cantidad de partículas colectadas

t = Tiempo de colección

ρ_d = Densidad del depósito de partículas.

El espesor del depósito puede ser calculado como sigue:

$$X_d = \frac{U_s (C_i - C_o) t}{\rho_d}$$

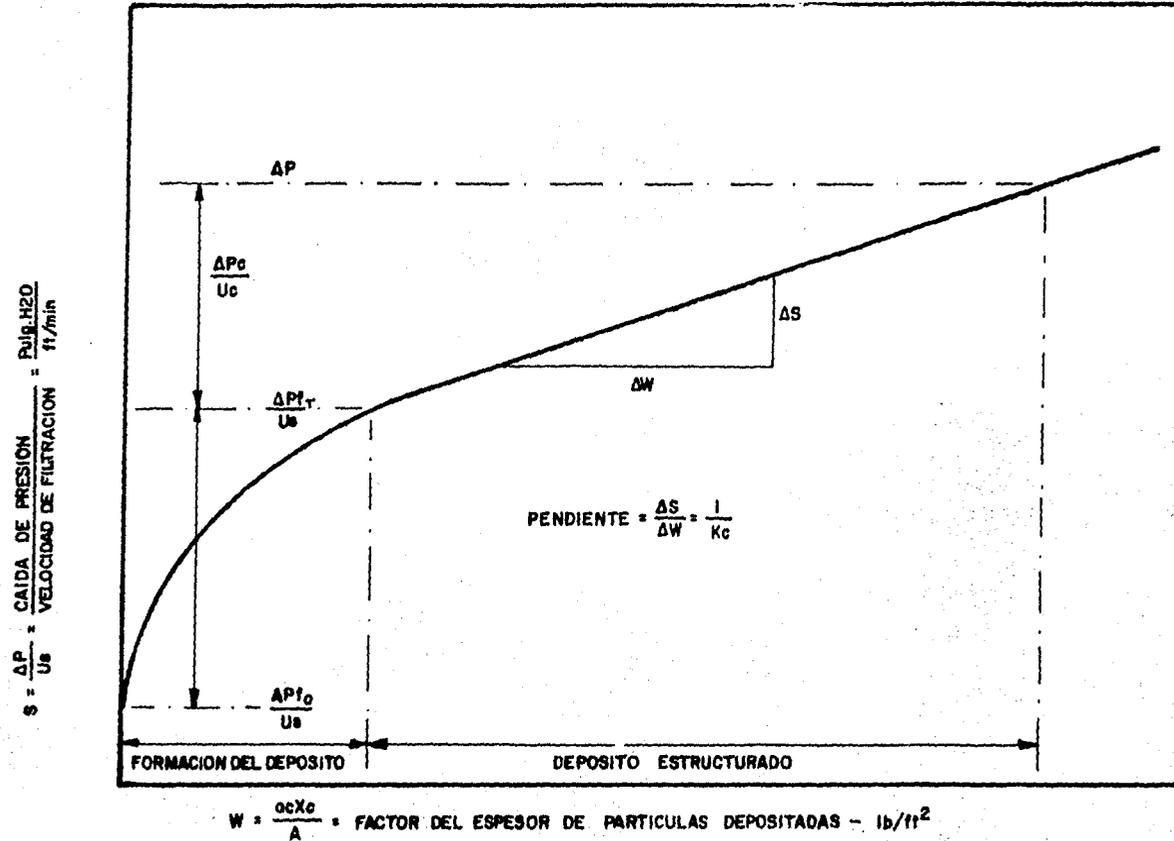
La caída de presión a través del depósito se puede calcular como:

$$P_d = \frac{\mu g U_s}{K_d} X_d = \frac{\mu g U_s^2}{K_d d} (C_i - C_o) t$$

....

FIG. 16.
EFECTO DE LA ESTRUCTURA DE
PARTICULAS DEPOSITADAS, EN LA
CAIDA DE PRESION

Tomado y traducido Ref.8



Por otra parte, el coeficiente de resistencia del depósito de partículas (K_c) se puede determinar por:

$$K_c = \frac{\mu g}{K_d \rho d}$$

La ecuación para determinar la caída de presión ocasionada por el depósito de partículas es finalmente:

$$P_d = K_d U_s^2 (C_i - C_o)t$$

la cual variará con el cuadrado de la velocidad, la concentración de partículas en el filtro y el tiempo de retención.

El efecto que causa el espesor del pastel se ilustra en la figura 16. Aquí la caída de presión por unidad de velocidad (U_s) es dibujado contra el espesor del depósito expresado en peso por unidad de área (W). La pendiente de la curva es el recíproco de el coeficiente de la resistencia del depósito de partículas de polvo (K_c).

3.2.4.4 DISEÑO DE LOS FILTROS DE BOLSAS.

Este consiste en especificar los parámetros siguientes:

- Relación Aire a Tela o Velocidad de filtración
- Caída de presión
- Tipo de tela
- Sistema de limpieza

Así, un Colector de Bolsas, puede clasificarse de acuerdo al tipo de tela utilizada, tipo de limpieza y el tipo de operación. También, los filtros de Bolsas pueden clasificarse por una combinación de éstas características que a continuación -

....

se describen.

a) VELOCIDAD DE FILTRACION (Us).

La relación Aire a Tela o Velocidad de Filtración, es el factor más importante que afecta el diseño de los filtros de Bolsas. Esta relación es la que determina el área filtrante total (At) requerida para captar las partículas de polvo que conduce el flujo volumétrico (Qs) y se define como:

$$Us = \frac{Qs}{Af}$$

donde: Us = Velocidad de Filtración

Qs = Gasto o flujo volumétrico

Af = Area filtrante

Los factores que determinan el valor de diseño para la relación aire a tela son las siguientes:

- 1) Concentración de partículas
- 2) Tamaño y densidad de las partículas
- 3) Tipo y tejido de la tela seleccionada
- 4) Método de limpieza utilizado
- 5) Porción de la bolsa fuera de servicio.

El sistema puede ser diseñado con un factor de seguridad del 10% para hacerlo más durable.

El rango en el cual varía la relación Aire a Tela es de 1:1 a 25:1, cuyas unidades son ft/min ó ft³/min/ft². En la tabla 12 se muestran las diferentes relaciones Aire a Tela para diferentes tipos de polvos y sistemas de limpieza recomendadas para el diseño.

....

TABLA No. 12

RELACION AIRE A TELA PARA LOS FILTROS DE BOLSAS, DE ACUERDO AL TIPO DE POLVO Y SISTEMA DE LIMPIEZA, en ft³/min/ft.

TIPO DE POLVO	SACUDIMIENTO MECANICO	AIRE REVERSO	PULSOS DE AIRE COMPRIMIDO
Alumina	2.5 - 3.0	9 - 11	8 - 10
Asbestos	3.0 - 3.5	10 - 12	10 - 12
Bauxita	2.5 - 3.2	8 - 10	8 - 10
Carbón negro	1.5 - 2.0	6 - 8	5 - 6
Carbón mineral	2.5 - 3.0	10 - 12	8 - 10
Cocoa, Chocolate	2.8 - 3.2	12 - 15	12 - 15
Arcilla	2.5 - 3.2	10 - 12	9 - 10
Cemento	2.0 - 3.0	8 - 10	8 - 10
Cosméticos	1.5 - 2.0	10 - 12	10 - 12
Semillas y granos	3.5 - 5.0	14 - 16	14 - 15
Feldespatos	2.2 - 2.8	9 - 11	9 - 10
Fertilizantes	3.0 - 3.5	-	8 - 9
Harina	3.0 - 3.5	12 - 14	12 - 15
Grafito	2.0 - 2.5	7 - 9	5 - 6
Fierro	3.0 - 3.5	10 - 12	11 - 12
Oxido de Fierro	2.5 - 3.0	9 - 11	7 - 8
Sulfato de Fierro	2.0 - 2.5	7 - 8	6 - 8
Oxido de Plomo	2.0 - 2.5	7 - 8	6 - 8
Cal	2.5 - 3.0	8 - 10	10 - 12
Piedra Caliza	2.7 - 3.3	8 - 10	-
Mica	2.7 - 3.3	9 - 11	9 - 11
Pigmentos de pintura	2.5 - 3.0	9 - 11	9 - 11
Papel	3.5 - 4.0	12 - 15	10 - 12
Plásticos	2.5 - 3.0	8 - 10	7 - 9
Cuarzo	2.8 - 3.2	9 - 11	9 - 11

TABLA No. 12 (Continuación)

TIPO DE POLVO	SACUDIMIENTO MECANICO	AIRE REVERSO	PULSOS DE AIRE COMPRIMIDO
Polvo de Roca	3.0 - 3.5	9 - 10	9 - 10
Arena	2.5 - 3.0	8 - 10	10 - 12
Madera	3.5 - 4.0	12 - 15	12 - 15
Sílice	2.3 - 2.8	6 - 8	7 - 9
Pizarra	3.5 - 4.0	12 - 14	12 - 14
Detergentes, jabón	2.0 - 2.5	6 - 8	5 - 6
Especias	2.7 - 3.3	10 - 12	10 - 12
Almidón	3.0 - 3.5	10 - 14	8 - 9
Azúcar	2.0 - 2.5	6 - 8	7 - 10
Tabaco	3.5 - 4.0	11 - 12	13 - 15
Oxido de Zinc	2.0 - 2.5	6 - 8	5 - 6

Tomado de PRINCIPLES AND APPLICATIONS OF FABRIC FILTRATION.
Dr. Hal B.J. Hooper, Jr. 1980

De ésta forma, la eficiencia total de Colección puede estimar se como una función de la velocidad de filtración (Us) median te la siguiente expresión:

$$RE = \frac{a (Xd)^b (\rho_g)^c (Us)^d - 1}{a (Xd)^b (\rho_g)^c (Us)^d} \times 100$$

donde: ρ_g = Densidad del gas

X_d = Espesor del depósito de partículas

U_s = Relación Aire a Tela

a, b, c, d = Constantes

b) TIPO DE FIBRAS Y TELAS UTILIZADAS PARA LA FABRICACION DE -
LAS BOLSAS FILTRANTES.

Los filtros de tela tienen bolsas desde 5 a 12" de diáme -
tro con un rango de velocidades de 5 a 30 ft/min. Los compar -
timientos son típicamente fabricados para colocar de 100 a -
200 bolsas en cada uno con un área total de 1500 a 2500 ft².
La mínima separación entre las bolsas debe de ser de 2 a 4" -
en un compartimento de 80 ft². Las bolsas son colgadas verti -
calmente y son sujetadas normalmente tanto en la parte supe -
rior como de la inferior (Fig 17).

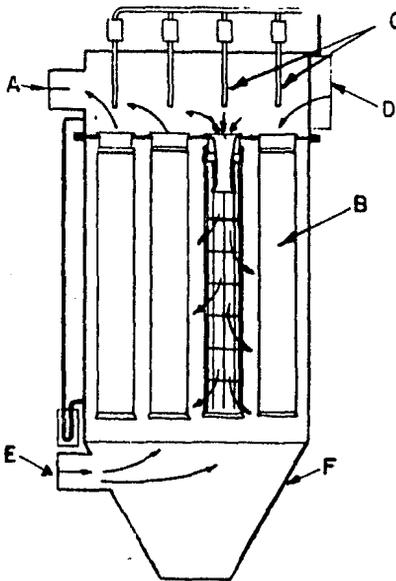
La selección correcta de las fibras y telas resulta
muy importante para lograr la mejor operación de los equipos -
de control. Las fibras textiles utilizadas para los equipos -
de captación, se encuentran disponibles en el mercado, en una
amplia variedad clasificada de acuerdo a su origen en:

1. Fibras Naturales. Vegetales

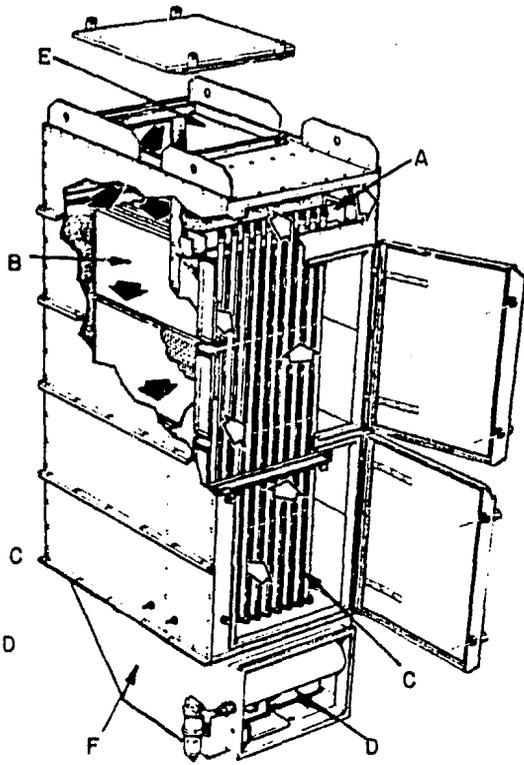
....

<i>Simbolos</i>	<i>Parte</i>
<i>A</i>	<i>Salida del aire limpio</i>
<i>B</i>	<i>Elementos filtrantes</i>
<i>C</i>	<i>Tuberia para aire reverso</i>
<i>D</i>	<i>Valvulas Solenoides</i>
<i>E</i>	<i>Entrada del aire sucio</i>
<i>F</i>	<i>Tolva</i>

Tomado y traducido Ref.3



TIPO BOLSA TUBO



TIPO BOLSA PLANA

**FIG. 17
COLECTOR DE BOLSAS**

Animales

Minerales

2. Fibras hechas por el hombre. Sintéticas

Artificiales

Las fibras más importantes de ésta clasificación son las sintéticas, ya que presentan ventajas considerables como las que se verán a continuación.

La razón por la que las fibras naturales han sido - prácticamente desplazadas por las sintéticas, obedece a que - el desarrollo de éstas últimas a sido muy grande, además de - poderse llevar acabo sobre estas fibras, tratamientos quími - cos y térmicos. Lo anterior es aplicable a la lana y al algo - dón, fibras que han sido sustituidas por el poliester y la fi - bra acrílica entre otras.

A continuación se puede apreciar en la tabla 13, - las características y ventajas que ofrece una fibra sobre o - tra. Para otros efectos de comparación, en la tabla 14, se - pueden ver por grupos y por orden descendente, las fibras ge - neralmente utilizadas para la filtración y la superioridad de - unas comparadas con otras en cuanto a sus características ge - nerales como pueden ser: resistencia a los ácidos, resisten - cia a los álcalis, resistencia a la tensión, resistencia a la - abrasión.

Los fabricantes de telas han desarrollado dos tipos de fabricación para llevar a cabo la filtración: Telas Tejidas y Telas Agujadas, mismas que a continuación se describen y - se complementan en la fig.18.

....

TABLA No. 13

CARACTERISTICAS Y VENTAJAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE FIBRAS.

FIBRA	TEMPERATURA MAXIMA DE - OPERACION °F	RESISTENCIA A LOS ACIDOS	RESISTENCIA A LOS ALCALIS	FLEXION ABRASION	COMBUSTIBLE	PROPIEDADES
Acrílica	275	buena	regular	buena	No	Recomendable con aire húmedo
Cotton	180	mala	Excelente	buena	No	Bajo costo
Dacrón	275	buena	mala	buena	No	No recomendable con aire húmedo
Dynel	160	Excelente	Excelente	mala	Sí	Excelente fibra - a bajas temperatu ras.
Fibra de Vidrio	550	regular	mala	mala	Sí	
Nomex	450	regular	Excelente	buena	sí	Costo regular
Nylon	200	mala	Excelente	Excelente	No	
Polipropileno	200	Excelente	Excelente	Excelente	No	Buena formación del depósito

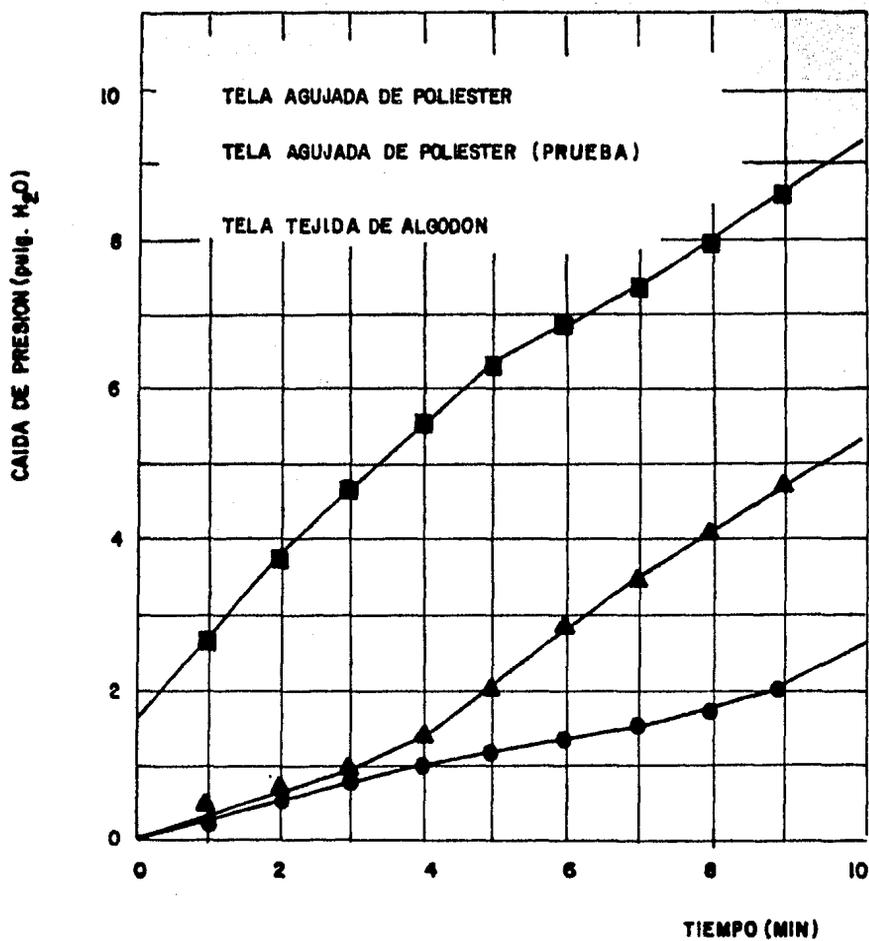
Tomada y traducida Ref.4

TABLA No. 14

TABLA COMPARATIVA DE LAS DIFERENTES TELAS POR ORDEN DE SUPERIORIDAD.

RESISTENCIA A LOS ACIDOS	RESISTENCIA A LOS ALCALIS	RESISTENCIA A LA TENSION	RESISTENCIA A LA ABRASION	RESISTENCIA AL CALOR (Seco)	RESISTENCIA AL CALOR (Húmedo)
Teflón	Teflón	Nylon	Nylon	Vidrio	Vidrio
Polipropileno	Polipropileno	Vidrio	Polipropileno	Teflón	Teflón
Vidrio	Nylon	Poliester	Poliester	Nomex	Nomex
Acrílicas	Nomex	Polipropileno	Nomex	Poliester	Acrílicas
Poliester	Vidrio	Nomex	Acrílicas	Acrílicas	Nylon
Nomex	Poliester	Acrílicas	Vidrio	Nylon	Poliester
Nylon	Acrílicas	Teflón	Teflón	Polipropile no	Polipropileno

Tomada y traducida Ref.9



Tomada y traducida Ref.9

FIG. 18
EFFECTO DEL TIEMPO DE FILTRACION SOBRE
LA CAIDA DE PRESION

1.) Telas Tejidas. Son aquellas fabricadas mediante procesos tradicionales de tejido y aplicables a Colectores de Polvo - con sistemas de limpieza por aire reverso y mecánico. Dentro de la gran variedad existente de diseño en telas tejidas, se utilizan tres ligamentos básicos de donde se obtiene la mayoría de las construcciones y éstas son:

- Tejido Tafetan o Plano.

Es el más simple y sencillo de los ligamentos, y debido a su construcción, ofrece una buena resistencia al trabajo mecánico, tiene buena captación y estabilidad, pero también - debido a su construcción ofrece facilidad para obturarse y - por lo consiguiente hay deficiencia en el desprendimiento del polvo.

- Tejido Sarga.

La característica principal de este tejido, consiste en un ligamento en forma diagonal, y por esta razón es la que más se recomienda para ser utilizada en procesos de filtración - (9), ya que su construcción da mejores desprendimientos del polvo. Otras características de esta tela, es su buena resistencia al trabajo mecánico, menor facilidad de obturación que el tafetán y gran flexibilidad.

- Tejido Raso o Satín.

Este tejido es muy similar al de Sarga, con la diferencia - de que el área de cobertura de los hilos de trama hacia los - del tejido, es mayor y no es de forma continua, sino alternada. Como características principales, ofrece una superficie - bastante lisa donde se deriva un excelente desprendimiento -

del polvo, pero debido a que la cantidad de hilos es mayor y son más finos que la que se tiene en tafetán y la sarga, esto se refleja en una baja resistencia al desgaste, no siendo muy recomendable utilizarla en equipos con sistemas de sacudido - enérgico.

Estas telas son utilizadas en Colectores de Polvo - diseñados para trabajar con unas relaciones aire a tela muy - bajas, que andan del orden de 1:1 a 3:1, lo que implica instalaciones muy grandes cuando se trata de manejar volúmenes de - gas elevados.

2.) Telas Agujadas. Se obtienen mediante nuevas técnicas de - fabricación que les den características especiales para apli- carse en Colectores de polvo con sistema de sacudido por pul- saciones y aquellos casos que utilizan sistemas mecánicos.

Debido al gran desarrollo que se han tenido en nue- vos y eficientes sistemas de limpieza y la necesidad de mane- jar grandes volúmenes de gases en espacios reducidos, ha he - cho que las telas agujadas tengan hoy en día una aplicación - más importante en la filtración.

Las telas Agujadas se obtienen por medio del entre- lazamiento de fibras sueltas que son ancladas a un tejido ba- se por medio de la aguja de un telar. Este proceso es muy de- licado y decisivo para lograr las especificaciones adecuadas- de una tela, ya que intervienen controles de calidad tales co mo cantidad de penetraciones, tipo de aguja y el avance del- telar, cantidad de capas de velo y las características de la- fibra.

Este tipo de telas han sido diseñadas para trabajar eficientemente con una relación aire a tela muy alta, debido a que tienen una superficie filtrante muy grande derivada de los miles de orificios que ofrece este diseño, lo que permite mayor difusión del aire (Fig.19).

La última fase dentro de la fabricación de las telas filtrantes, corresponde a el acabado que se les puede dar incluyendo una o varias operaciones que pueden ser mecánicas o químicas, y que como ya se mencionó, tiene por objeto modificar en mejoría, las características de una tela de acuerdo a las condiciones de operación a las cuales va a estar sujeta.

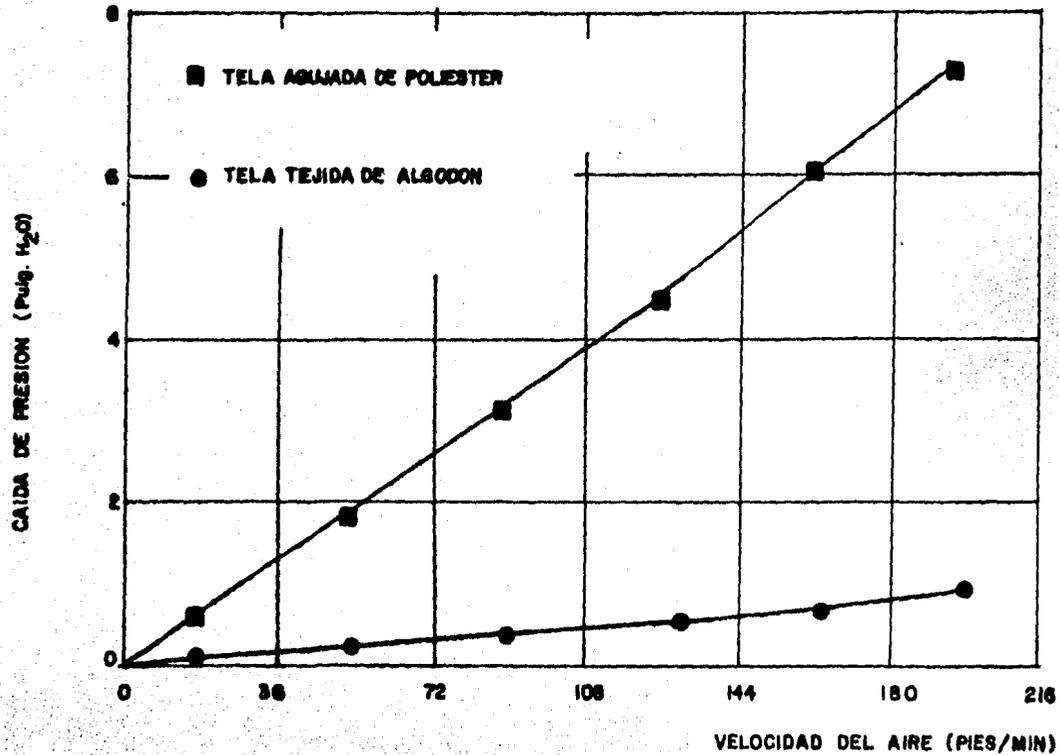
Los procesos de acabado usados en las telas filtrantes son: Lavado, termofijado, calandrado, chamuscado, perchado y tratamientos químicos, obteniendose así, efectos que influyen en el acabado, tales como:

- Estabilidad dimensional (Alargamietos o acortamientos)
- Permeabilidad Controlada
- Capacidad de retención
- Facilidad de desprendimiento
- Repelencia al agua
- Retardante a la flama
- Antiestáticos
- Resistencia a la abrasión
- Resistencia a los ácidos
- Resistencia a los álcalis

A continuación se describen las principales fibras utilizadas para la fabricación de las bolsas filtrantes como son:

....

FIG. 19
EFECTO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE SOBRE
LA CAIDA DE PRESION



Tomada y traducida Ref.9

1. Algodón. Ha sido durante muchos años la fibra más utilizada para el tejido de telas filtrantes en su uso con polvo común. No es costosa, durable siempre y cuando las temperaturas no sean excesivas y el polvo no contenga ácidos o álcalis. Se puede aplicar tanto en material abrasivo, trituración de rocas y sistemas de transporte.

2. Lana. Anteriormente al desarrollo de las fibras sintéticas era seleccionada para temperaturas cercanas a los 200°F o si se presentaban materiales bajo condiciones ácidas. Se utiliza para la fabricación de telas que utilizan el sistema de sacudimiento del tipo "Aire Reverso".

3. Nylon. Es una fibra sintética. Su costo inicial es relativamente alto, pero tiene grandes propiedades físicas: gran resistencia a la abrasión y flexión. El depósito de partículas de polvo puede ser desprendido de la bolsa con una acción mínima de limpieza. Pocas veces se utiliza en los colectores de bolsas debido a que se pueden emplear otras telas sintéticas con las mismas características que el Nylon y que presentan gran resistencia, propiedad que el Nylon no tiene.

4. Dynel. Tiene gran resistencia química así como a los ácidos y álcalis, pero poca a la combustión.

5. Orlón y Dacrón. Son ligeras de peso y tienen buena resistencia al calor así como gran resistencia química especialmente a los ácidos. La única diferencia entre ambas fibras, es su costo, siendo el dacrón más económico.

6. Teflón. También presenta una gran resistencia al calor y a las sustancias químicas, pero también es excesivamente costoso.

....

7. Fibra de vidrio. Es la fibra que tiene o presenta la más grande resistencia a las altas temperaturas y productos químicos. Es una tela frágil y tiene poca resistencia a la abrasión y compresión, por lo que no se recomienda su uso en los sistemas de limpieza mecánicos, y si éste se utiliza, debe regularse el golpeteo a un período de 50 ciclos/min y una amplitud cercana al 5% de la longitud de la bolsa.

Por lo mencionado anteriormente, la selección de la tela a utilizar en la fabricación de las bolsas filtrantes, deberá hacerse tomando en cuenta las siguientes características:

- Temperatura del gas a la entrada del colector
- Concentración de partículas en el colector
- Interacción eléctrica de la tela y la partícula
- Costo inicial
- Durabilidad de la tela
- Resistencia a la temperatura y a agentes químicos

con lo cual se podrá elegir la tela que más se apegue a las características que se requieran.

c) MECANISMO DE LIMPIEZA DE LAS BOLSAS.

Debido al polvo que se acumula en los elementos filtrantes, la caída de presión aumenta hasta un valor máximo establecido, indicándonos cuando se deben de limpiar los elementos filtrantes, para reducir la pérdida de presión. Los ciclos de limpieza pueden ser manuales, semiautomáticos y completamente automáticos, siendo las bolsas limpiadas automáti-

camente en forma periódica por medio de uno de los cuatro sistemas:

1. Sacudimiento mecánico y flexibilidad
2. Flujo de aire reverso a través de las bolsas.
3. Pulsos de aire reverso
4. Expansión de las bolsas por medio de pulsos de aire.

mismos que a continuación se describen.

c.1. Sacudidores Mecánicos.

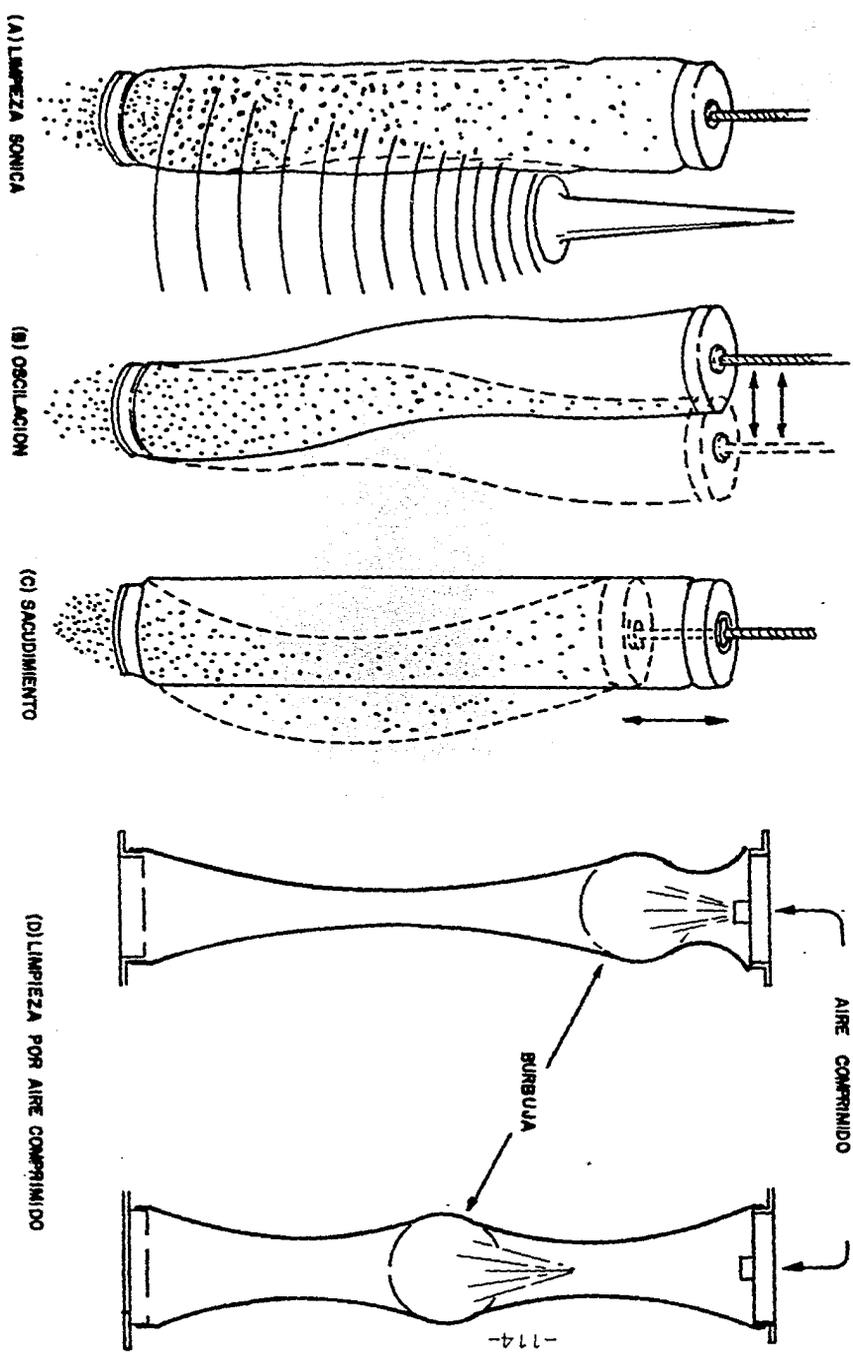
Algunos colectores utilizan sacudidores del tipo mecánico. El sacudidor del tipo de motor eléctrico es el más común. Mediante levas se transforma el movimiento rotatorio del motor en oscilaciones de la estructura. Las bolsas pueden ser sacudidas horizontal y verticalmente (Fig.20). Es muy importante que no exista presión dentro de la bolsa filtrante mientras dura el ciclo de limpieza.

c.2. Flujo de Aire Reverso.

Este mecanismo de limpieza se recomienda cuando se utilizan grandes volúmenes de gas con partículas de polvo pequeñas. Se utiliza para la filtración de adentro hacia afuera lo que quiere decir, que las partículas se acumulan en el interior de las bolsas.

Cuando la capa de polvo ha adquirido un espesor que provoca que la caída de presión aumente a través del filtro - hasta alcanzar cierto límite, el polvo debe sacudirse de las-

FIG. 20
METODOS DE LIMPIEZA PARA FILTROS DE TELA



bolsas filtrantes. Esto se lleva a cabo aplicando un contraflujo de aire a través de las bolsas. Es importante que el proceso para limpiar las bolsas deje una cantidad de polvo suficiente en la bolsa, con el fin de facilitar la acumulación de una nueva capa de polvo, para mantener de esta forma, cierta eficiencia de colección en la bolsa limpiada. Durante el período de limpieza, la cantidad de polvo que se elimina por unidad de tiempo, continuamente disminuye, por lo que no tiene sentido la operación de limpieza más allá de cierto tiempo determinado.

El material de filtración que se recomienda para este mecanismo de limpieza, por lo general es de diversos tipos de telas, que consisten en fibra de poliéster, fibra de vidrio y la tela Nomex. El material más común es el poliéster, el cual puede resistir temperaturas del gas hasta de 135°C y es resistente a los ácidos y álcalis, presentando una gran resistencia al desgaste y gran flexibilidad. Los materiales de fibra de vidrio, pueden resistir temperaturas del gas hasta de 260°C (9), pero poseen menor flexibilidad y una resistencia inferior al desgaste, a soluciones alcalinas calientes así como a los ácidos fosfóricos y fluorhídricos, además, la fibra de vidrio es más costosa. Otra tela recomendada es la Tela Nomex, la cual puede resistir las temperaturas máximas de los gases hasta de 200°C. Esta tela es más costosa que la fibra de vidrio o el poliéster.

c.3 Limpieza por pulsos de aire comprimido.

Los colectores que utilizan este sistema de limpie-

....

LIMPIEZA DEL FILTRO DE TELA MEDIANTE FLUJO DE AIRE REVERSO

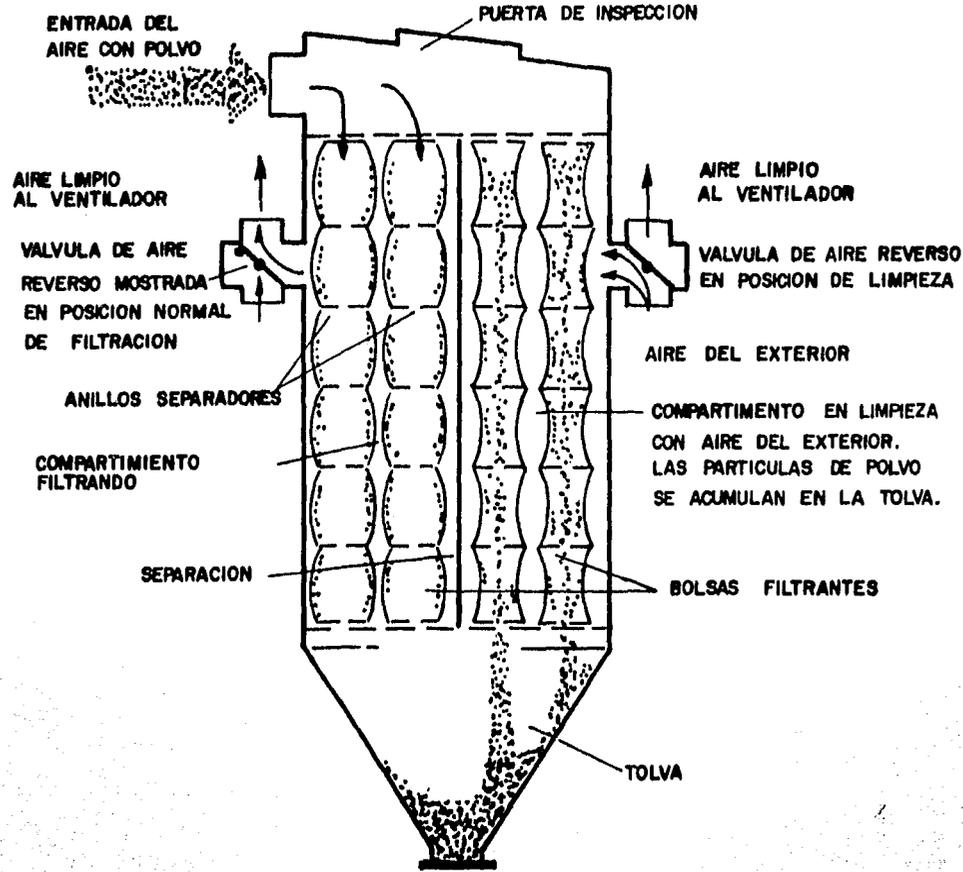


FIG. 22
LIMPIEZA DEL FILTRO DE TELA MEDIANTE
PULSOS DE AIRE REVERSO.

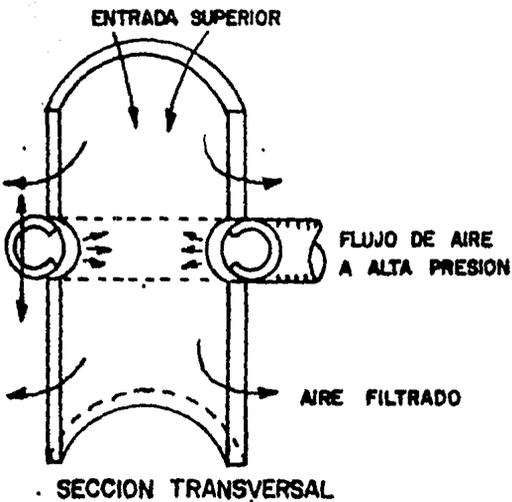
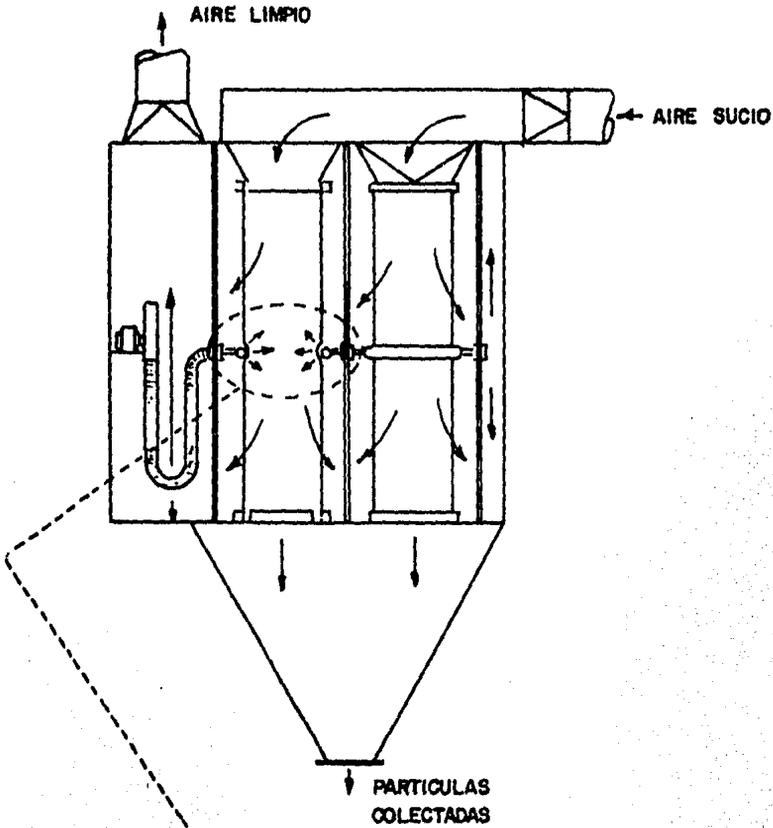


FIG. 23
CICLO DE LIMPIEZA DEL COLECTOR
DE POLVO TIPO FILTRO DE COMPARTI
TIMENTOS MÚLTIPLES.

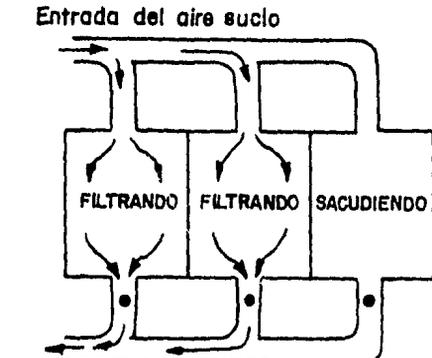
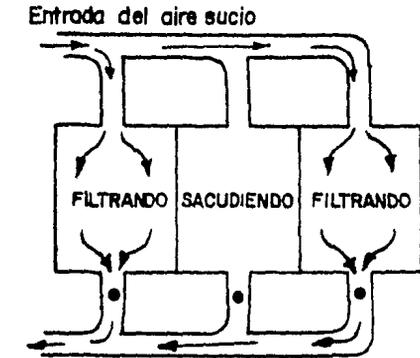
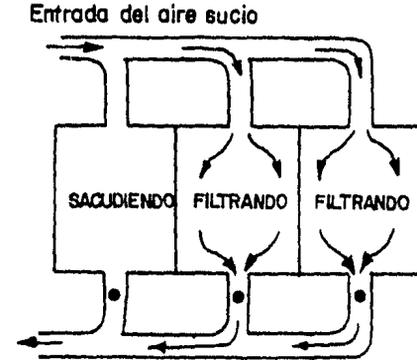
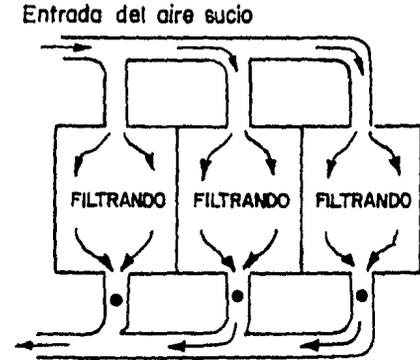


FIG. 24
ALIMENTACION ALTERNATIVA PARA
FILTROS DE TELA

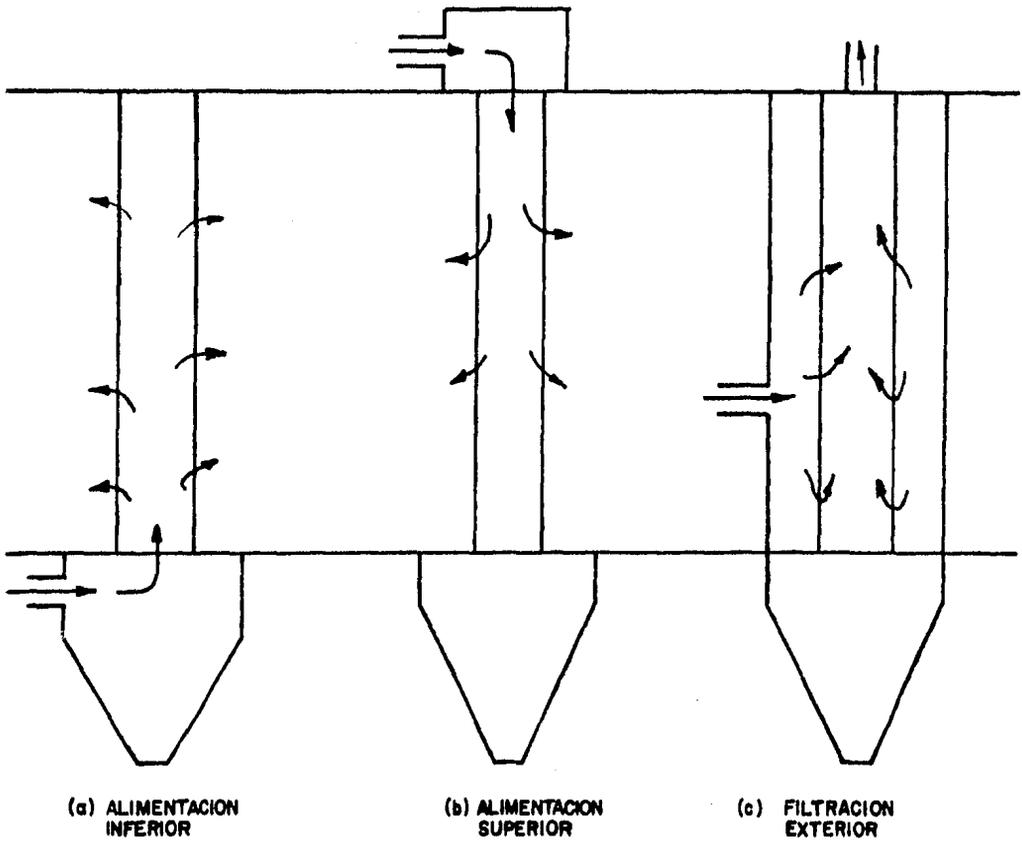
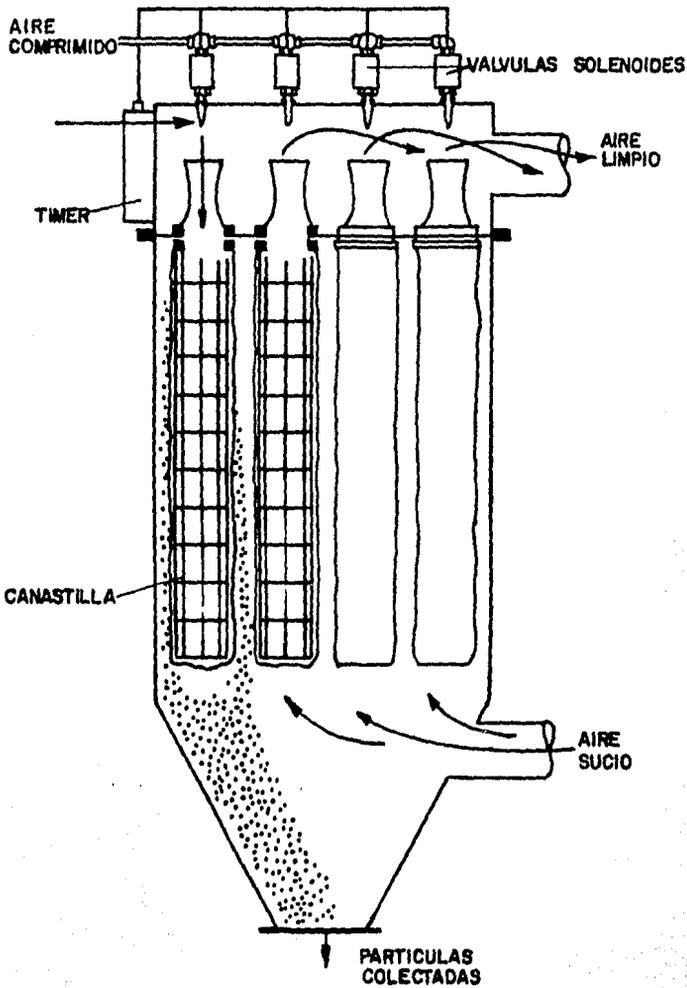


FIG. 25
LIMPIEZA DEL FILTRO DE TELA MEDIANTE
PULSOS DE AIRE COMPRIMIDO.



za, emplean una filtración de adentro hacia afuera (Fig.24), - lo que significa que las partículas de polvo se acumulan en - el exterior de las bolsas. El concepto tradicional del tipo - de filtro por pulsos, se basa en un fuerte chorro de aire com - primido (Fig.20) que se introduce en las bolsas a través de - boquillas que están sobre la abertura superior de la bolsa, - donde también se coloca un tubo vénturi para inyectar aire a - dicional a las bolsas (Fig.25). El pulso de aire viaja por - adentro de la bolsa hacia abajo, separando de la jaula que la sostiene, desalojando el polvo que se depositó en el exterior de las bolsas.

Entre el material de filtración recomendado para utilizarlo junto con este mecanismo de limpieza, se encuentra la tela de fieltro, polipropileno o acrílica.

Una vez determinados los parámetros anteriores de - diseño, solo basta seleccionar el modelo asignado por el fa - bricante y estimar los costos iniciales de operación y mante - nimiento, para escoger el equipo de control que reúna todos - los requisitos necesario y sea el más económico

3.3 ESTIMACION DE COSTOS.

Con frecuencia la selección del equipo de Control - debe determinarse en función de la factibilidad económica. Las estimaciones de los costos se puede llevar acabo tomando - en cuenta los siguientes factores:

a) Precio contra capacidad.

....

Todos los costos de Colectores de polvo por unidad de volúmen de gas, variarán de acuerdo al volúmen a utilizar. A menor volúmen total, mayor será el costo por unidad de volúmen.

b) Accesorios Incluidos.

Hacer un análisis de los componentes del equipo es muy importante. Algunos modelos de colectores incluyen ventiladores, motores, controles y arrancadores. En otros modelos estos componentes deben adquirirse por separado. Algunos de los siguientes componentes pueden ser incluidos o no por el proveedor: Tolvas almacenadoras, conexiones de los conductos entre los elementos, bombas de agua de circulación continua, tanques de asentamiento, etc.

c) Costos de Instalación.

Estos costos varían de acuerdo al tipo de envío utilizado (ensamblado, semi-ensamblado, desarmado), localización soportes y plataformas de acero. También puede influir en el costo de las necesidades de agua y drenaje, instalación eléctrica especial y un equipo costoso para la eliminación y tratamiento del material colectado, mano de obra y equipo necesario para la instalación del equipo.

d) Costo de Operación.

Estos costos son muy importantes, ya que determinan junto con el factor tiempo, la recuperación del capital. Algunos equipos, para una eficiencia determinada, representan un cargo de capital menor, pero sus costos de operación pueden ser lo suficientemente elevados para que la inversión no sea

FIG. 26
COSTOS COMPARATIVOS DE COLECTORES MAS EMPLEADOS
EN LA INDUSTRIA

TIPO DE COLECTOR	COSTOS DE CAPITAL		COSTOS DE OPERACION			COSTO TOTAL
	Equipo	Accesorios	Energía Eléctrica	Consumo de Agua	Manteni- miento	
<u>CICLONES</u>						
Convencional	B	B	M	NO	MB	B
Alta Eficiencia	M	B	M	NO	MB	B
Húmedo	M	M	M	M	M	M
Multiciclón	M	B	M	NO	B	B
<u>PRECIPITADOR ELECTROSTATICO</u>						
Sin acondicionamiento	A	A	MB	NO	B	M
Con acondicionamiento	M A	M A	MB	A	M	A
<u>COLECTOR DE BOLSAS</u>						
Convencional	A	A	A	NO	At.	A
Flujo Reverso	A	A	M A	NO	At	M A
<u>VENTURI HUMEDO</u>						
Convencional	M	M	M A	A	B	M
Alta Energia	A	M	At	M A	M	At.

MB Muy bajo
 B - Bajo

M - Medio
 A - Alto

M A - Muy Alto
 At - Altísimo

TABLA No. 27

EQUIPO	EFICIENCIA	TOTAL	POR METRO CUBICO POR MINUTO	CAIDA DE PRESION	ENERGIA ELECTRICA	CONSUMO DE AGUA	COSTO DE AGUA	MANTENIMIENTO	COSTO TOTAL DE OPERACION	CARGOS AL CAPITAL	COSTO TOTAL
	%	\$x10 ³ (1)	\$/m ³ /min	mm H ₂ O	\$10 ³ /Año	Lt/m ³	\$/x10 ³ Año	\$/x10 ⁴ Año	(2) \$x10 ⁴ Año	(3) \$x10 ⁴ Año	\$/x10 ⁴ Año
Ciclón Convencional	65.3	850.0	500.0	93.98	108.8			1.54	12.42	8.5	20.92
Ciclón Alta Eficiencia	84.2	1622.8	955.2	124.46	145.5			1.54	16.09	16.2	32.29
Ciclón Húmedo	91.0	2009.2	1182.4	99.06	129.5	0.536	42.5	3.86	21.06	20.1	41.16
Multiciclón	93.8	1777.2	1046.0	109.22	127.5			1.54	14.29	17.7	31.99
Precipitador Electrostático Conv.	98.1	7908.0	4654.4	15.20	39.9			6.44	10.43	79.1	89.53
Precipitador Elect. con Acond.	99.8	13601.2	8005.2	15.20	72.1	0.335	28.3	10.30	85.23	136.0	221.23
Colector de Bolsas Convencional	99.9	4533.6	2668.4	101.60	121.0			82.25	94.35	45.3	139.65
Colector Bolsas Flujo Reverso	99.9	4379.2	2577.2	127.00	256.9			69.55	95.24	43.8	139.04
Venturi Húmedo Convencional	93.5	2241.2	1318.8	154.94	181.6	0.08	7.1	5.15	24.02	22.4	46.42
Venturi Húmedo Alta Energía	99.7	3864.0	2274.0	558.80	680.7	0.670	77.9	7.73	83.59	38.6	122.19

- (1) Incluye costo de accesorios e instalación
- (2) Para 8000 horas/año de operación
- (3) Se considera el 10% del costo de capital

NOTA: Costos para manejar 10195m³/h=60,000CFM, a 20°C
 Concentración de 11.44 g/m³ e igual distribución
 por tamaño de partículas.

rentable con el tiempo. Algunos de los factores que se deben de incluir son: Consumo de agua, de energía eléctrica en todo el sistema, tratamiento y evacuación de los materiales recolectados, uso de personal calificado para la operación correcta del equipo, etc.

e) Costos de Mantenimiento.

Se deben de considerar todos aquellos gastos de reparaciones, previsión de posibles averías, etc., para garantizar el perfecto funcionamiento del equipo cuando se tengan quemaduras de motores, rompimiento de bolsas, etc.

f) Depreciación del equipo.

En función del equipo, es necesario saber en que tiempo resulta inoperante el equipo funcionando para sustituirlo, es decir, determinar la vida útil del equipo.

Las figuras 26 y 27, nos pueden dar una idea de las estimaciones de costo de los equipos de Colección de Polvos.

CAPITULO 4.

APLICACIONES EN EL AREA DE ENVASADO.

El Ensacado y la carga del cemento dependen de las posibilidades de su expedición por ferrocarril, por camión o por barcos, y corresponde a la fábrica, evaluar los procedimientos más favorables, ya sea utilizando sacos o a granel.

Los dos procedimientos se utilizan en la actualidad y se cuenta ordinariamente con 2/3 de la producción en sacos por tener mayor demanda, y 1/3 a granel.

Ya sea que se carguen en sacos o a granel, es preciso cuidar que la operación de envasado se verifique sin polvo, y se debe prever con la instalación de un Sistema de Colección ampliamente calculado.

La carga en sacos exige que la manipulación de éstos se haga con cuidado, sin que sufran ninguna colisión y debenser entregados por la máquina ensacadora sin golpes. En las curvas se tomarán las precauciones con láminas o rodillos para evitar choques. Cada saco roto es una pérdida de cemento y aumento en los precios de venta, puesto que es preciso recoger enseguida el polvo extendido y considerarlo como material de deshecho, si no se puede limpiar mediante cribado. Se puede deducir de aquí, el porqué debe de preverse en el plano de la instalación, que la ensacadora esté lo más cerca posible del lugar de carga.

Sobre las tolvas de alimentación a la Ensacadora, -

deben colocarse cribas para evitar que ésta sea estropeada por cuerpos extraños. En la actualidad, las instalaciones de envasado se ven provistas de limpiadores de sacos, consistentes en aspiradores que quitan por succión, el polvo depositado sobre los sacos.

Las máquinas ensacadoras modernas, solo tratan sacos de papel que se llenan con ayuda de máquinas de una o varias bocas, dispuestas en fila o en máquinas rotatorias.

En las máquinas fijas, los sacos se llenan por medio de una rueda de paletas que gira rápidamente. El cemento se proyecta dentro del saco por una boquilla sobre la que el saco está encajado y controlándose el peso mediante una balanza. Con este fin y para que el saco pueda abandonar la boquilla de llenado en el momento deseado, se le hace descansar sobre una especie de asiento suspendido de una extremidad del brazo de la balanza, la cual, al alcanzar el peso deseado, interrumpe la proyección del cemento dentro del saco y desprende a éste. Estas máquinas pueden dar de 175 sacos/hora con retirada a mano y 250 sacos/hora con una banda transportadora y por boquilla.

En las máquinas rotatorias, el cemento entra en el saco por un tubo alimentador con boquilla. El llenado no empieza desde el emboquillado del saco, sino generalmente tras una rotación de 30°, y se termina a unos 60° del punto de partida para dejar tener el tiempo suficiente para el desprendimiento y retirada del saco. El rendimiento de estas máquinas se eleva de 175 a 250 sacos/hora/boquilla y depende en buena-

parte de la habilidad del operador.

Desde las máquinas ensacadoras, los sacos van por - bandas transportadoras hasta otro transportador, provisto de un contador de sacos. Cuando se cargan vagones o camiones cerrados, se utilizan máquinas especiales que utilizan dos pequeñas bandas transportadoras, las cuales se introducen en los vagones o camiones, inclinándolas si es necesario, de forma que los sacos se lleven directamente al emplazamiento de - apilado sin intervención manual.

A continuación se muestra el arreglo general del equipo instalado dentro del área de ensacado (Fig.28) formado por:

No.	EQUIPO	CAMPANA	GASTO	
			m ³ /min	CFM
1a	Ensacadora (Inferior)	1	120	4238
1b	Ensacadora (Superior)	2	15	530
2	Criba	3	20	706
3	Elevador de Cangilones	4	33	1165
4	Colector de Polvo	5	-	-
TOTAL			188	6639

en el cual se verá, a vía de ejemplo, la forma de aplicar las recomendaciones dadas en capítulos anteriores, para el Diseño del Sistema de Control de Emisiones de Polvo, el cual está - formado, como se ha indicado con anterioridad, por el sistema de Ventilación y el Sistema de Colección en sí.

Las longitudes de la ductería se muestran en la ta-

....

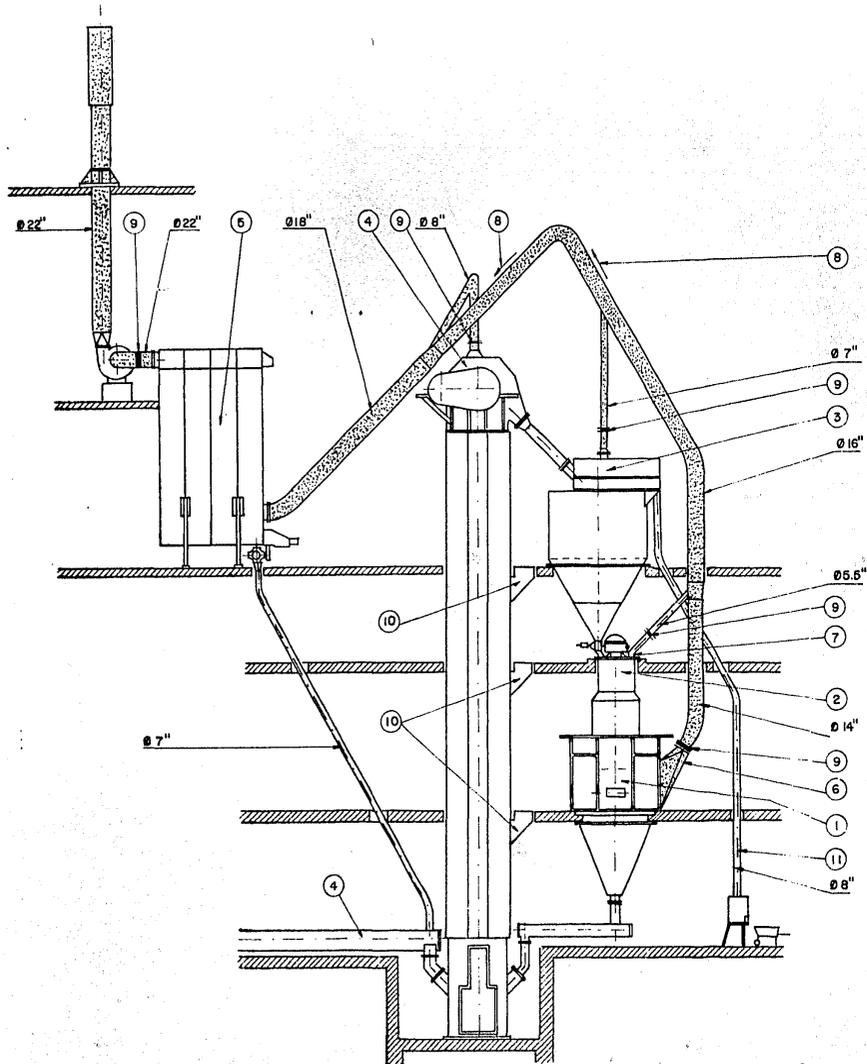


FIG 28
 SISTEMA DE COLECCION DENTRO
 DEL AREA DE ENVASADO.

- | | | | |
|------|---|------------------------|---|
| (1) | AIRE DE DESPULVAMIENTO: | PANTALLA DE ENSACADORA | 120 m ³ /min. |
| (2) | " | " | PARTE SUPERIOR DE LA ENSACADORA 15 m ³ /min. |
| (3) | " | " | CRIBA DE CONTROL 20 m ³ /min. |
| (4) | " | " | ELEVADOR DE CANGILONES 33 m ³ /min. |
| (5) | COLECTOR DE POLVOS | TOTAL | 188 m ³ /min. Concentración de polvo aprox. 15g/m ³
Granulometría < 30 μ |
| (6) | CAMPAÑA DE SUCCION | | |
| (7) | BRIDA PARA TUBERIA DE SUCCION | | |
| (8) | INCLINACION MINIMA EN RELACION AL NIVEL HORIZONTAL: Hacia arriba 60°
Hacia abajo 45° | | |
| (9) | VALVULA DE MARIPOSA | | |
| (10) | TOLVA PARA CEMENTO DERRAMADO. | | |
| (11) | DESCARGA DE LA CRIBA DE CONTROL | | |

bla siguiente:

No. de Ramal	GASTO MINIMO REQUERIDO CFM	LONGITUDES		CODOS	ENTRADAS
		mts.	ft.		
1-A	4238	1.8	6.0	1 - 30°	-
2-A	530	1.3	4.25	-	-
A-C	4768	4.5	14.75	1 - 30°	1 - 45°
3-C	706	2.0	6.6	-	-
C-D	5474	3.0	10.0	1 - 45°	1 - 30°
4-D	1165	1.5	5.0	1 - 30°	1 - 15°
D-E	6639	3.0	10.0	1 - 45°	-
5	6639			-	-
6-F	6639	2.5	8.2	-	-

4.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACION

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, el primer paso consiste en la determinación de los diámetros de la tubería, lo cual se lleva acabo utilizando la tabla No. 5, tomando en cuenta que se debe de tener una velocidad de 4000 - FPM, la cual se considera la velocidad de arrastre del cemento, y el volúmen de aire a succionar de cada equipo, quedando los diámetros de cada ramal como:

No. de RAMAL	GASTO	DIAMETRO
1-A	4238	14"
2-A	530	5½"
A-C	4768	16"
3-C	706	7"

....

C-D	5474	16"
4-D	1165	8"
D-E	6639	18"

Como se puede observar, la cantidad de aire a succionar por el sistema, en cada punto de emisión, es propuesto, así como la velocidad de arrastre que se recomienda para este caso y que puede variar hasta en un 20%. (3)

Después de seleccionar las campanas de succión de acuerdo al diámetro de la tubería y la boquilla del equipo (Fig.5), para llevar acabo el análisis de distribución del aire en el sistema así como la determinación de la caída de presión en el mismo para obtener la potencia que el ventilador requiere.

Por ser el Cemento un material abrasivo, no se recomienda el uso de compuertas para el balanceo del sistema en lo que respecta a la distribución del aire, por lo que se utilizará el Método A (Tabla 7).

De acuerdo al procedimiento anterior, en el cual se obtuvo una pérdida de presión estática de 7" y un gasto volumétrico de 7545 CFM, solo bastan hacer las correcciones pertinentes debidas a la temperatura y altura sobre el nivel del mar de acuerdo a la tabla 9, considerando también la aplicación del Factor de Seguridad del 10%, quedando los resultados corregidos como a continuación se indica:

D A T O S : Temperatura = 70°F (Temperatura Ambiente)
 Altitud sobre el nivel del mar = 1589 mts

....

TABLA 7

CLIENTE: DIRECCION _____		REFERENCIA _____		ELEVACION _____		TEMPERATURA _____		NOTAS _____											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
No. DE RAMA		DIAM DEL DUCTO	AREA FTE	VOL. AIRE CFM	VEL EN FPM	LONGITUD DE DUCTERIA EN PIES				CAIDA DE PRESSION PULB/D		UN VP		PERD ENTR	CAMP SUCC.	CAIDA DE PRESSION PULB/H O		VOL. CORR. CFM	
						DUCT. HY V	NUMERO CODD	LONG EN DENTR	LONG EN TOT.	POR 100	POR 100	Y 7C				PRES. EST.	P.S. 60V		
1-A	14	1.21	432	432	6	12	12	12	12	1.5	0.2	0.05	1.18	0.25	1.25	0.81	1.18	1.52	601
2-A	55	0.16	530	320	4.25	45	6.5	10.75	34	0.37	0.45	0.25	1.25	0.81	1.18	1.52	601		
3-C	16	1.37	487	344	11.75	30	8	22.7	1	0.23	0.75					1.75			
3-E	7	0.26	306	240	6.6	30	6	12.6	1.5	0.19	0.44	0.25	1.25	0.81	0.74	1.75	1085		
3-D	16	1.37	524	426	10	45	12	22	1.7	0.38						2.17			
4-D	8	0.35	1165	304	5	30	15	7	12	1.8	0.22	0.7	0.25	1.25	0.81	1.1	2.3	1621	
5-E	18	1.77	345	426	10	45	14	24	1.2	0.27	1.14	0.25	1.25	1.43		2.4			
$VF = \frac{(Q_1 + Q_2)^2}{4005(A_1 + A_2)^2} = \frac{(5924 + 1621)^2}{4005(1396 + 0.341)^2} = 1.16''$ $\Delta = 1.14 - 1.16 = -0.02''$																			
6										4.5									6.9
6-F	22	2.14	1343	260	8	3	0.42	0.03											6.93
Presión Estática del Ventilador = 0.03 - (-6.90) - 0.22 = 6.71" ≈ 7" PE.																			
Capacidad del Ventilador = 7545 CFM.																			

$$\begin{aligned}\text{Presión Estática Corregida} &= 7(1 + FS) = \\ &= 7(1 + 0.1) = \\ &= 7.7 \approx 8''\end{aligned}$$

$$\text{Gasto Volumétrico} = 7545 \times 1.10 = 8299.5 \approx 8300 \text{ CFM}$$

- Factores de Corrección.

De la tabla 9 e interpolando, se obtiene que el factor de corrección F.C. = 1.20855, por lo que:

$$\text{Presión Estática} = 1.20855 \times 8'' = 9.66 \approx 10''$$

Utilizando la tabla 15, encontramos que se recomienda emplear un Ventilador de Aspas Planas, con 1048 RPM y 21.15 BHP, correspondiendo las dimensiones al modelo 23 LS.

4.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE COLECCION.

El primer paso consiste en determinar la relación Aire a Tela, la cual puede obtenerse de la tabla 12, donde se recomienda utilizar para el manejo del Cemento, una relación de 8 a 10 CFM/ft², pero para mantener un diseño en forma conservadora, se recomienda utilizar relaciones de aire a tela pequeñas, por lo que para este caso se tomará la Relación Aire a Tela de 8 CFM/ft².

A continuación se estima el área filtrante mediante la siguiente expresión:

$$\text{Area de Tela} = \frac{\text{Gasto}}{\text{Relación Aire a Tela}}$$

....

sustituyendo estos valores dados, obtenemos que:

$$\text{Area de Tela} = \frac{8300}{8} = 1037.50 \text{ ft}^2$$

La configuración del Colector de Bolsas, puede basarse en el uso de bolsas cilíndricas con un diámetro de 5" y una longitud de 10 pies, las cuales tienen un área filtrante de:

$$\begin{aligned} \text{Area de la bolsa} &= 2 \pi r h = 2 \times 3.1416 \times \left(\frac{5}{12 \times 2}\right) \times 10 \\ &= 13.09 \text{ ft}^2/\text{bolsa} \end{aligned}$$

por lo que el número de bolsas será:

$$\begin{aligned} \text{No. de Bolsas} &= \frac{1037 \text{ ft}^2}{13.09 \text{ ft}^2 \text{ por bolsa}} \\ &= 79.22 \text{ bolsas} \approx 80 \text{ bolsas.} \end{aligned}$$

Por ser el Cemento un material abrasivo debido a su composición química, ya que se forma por la mezcla de cal combinada totalmente con la Alúmina (Al_2O_3) y los silicatos (SiO_2), se recomienda utilizar, de acuerdo a la tabla 13, fibra de Polipropileno para la fabricación de las bolsas, por ser la que presenta mejor resistencia a la abrasión.

Una vez determinado el número de bolsas y la fibra a utilizar en su fabricación, se procede a estimar la Caída de Presión en el Colector de Polvo, considerando 8 horas de -

operación y si los coeficientes de resistencia de la tela y el depósito de partículas son respectivamente, $K_1 = 0.2$ "H₂O/ft-min. y $K_2 = 0.1$ "H₂O/(lb/ft²)(ft/min). La concentración de partículas es de 15 gr/m³.

La caída de Presión es dada mediante las relaciones siguientes:

$$\Delta p = \Delta p_{\text{Limpia}}^{\text{Tela}} + \Delta p_{\text{Partículas}}$$

$$\Delta p = K_1 V + K_2 C_i V^2 t$$

donde: Δp = Caída de presión, pulgadas de agua

V = Velocidad de Filtración en ft/min.

C_i = Concentración de polvo en el gas, lb/ft³

t = Tiempo de operación.

Sustituyendo:

$$\Delta p = \left(\frac{0.2 \text{ "H}_2\text{O}}{\text{ft-min}} \right) \left(8 \frac{\text{ft}}{\text{min}} \right) + \left(\frac{0.1 \text{ "H}_2\text{O}}{\frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} \times \frac{\text{ft}}{\text{min}}} \right) \left(\frac{15 \text{ lb/ft}^3}{16020} \right) (8)^2 (60)$$

$$\Delta p = 4.47 \text{ " H}_2\text{O} \cong 4.5 \text{ " H}_2\text{O}$$

Por último, se calcula el tiempo entre los ciclos de limpieza, considerando que la caída de presión $p = 2$ pulgadas de H₂O, ya que por ser la tela nueva, la caída de presión ocasionada por el depósito de partículas es mínima.

....

Utilizando la siguiente expresión:

$$t = \frac{\Delta P - k_1 V}{k_2 C_i V^2}$$

Sustituyendo:

$$t = \frac{2 - 0.2 \times 8}{0.5 \times \frac{15}{16020} \times 8^2} = 13.35 \text{ min.}$$

4.3 LISTA GENERAL DE PARTES Y COSTOS.

Una vez seleccionado el modelo a utilizar, se debe determinar el sistema de limpieza que debe emplearse, pero como se puede observar en la fig.28, el Colector se colocará en el tercer nivel, por lo que debe diseñarse un equipo de control ligero, para lo cual se recomienda utilizar el Sistema de Limpieza mediante pulsos de aire comprimido.

A continuación se enlistan las partes constitutivas que se utilizan para la fabricación del Colector de Bolsas con sistema de limpieza mediante pulsos de aire comprimido.

CANT.	DESCRIPCION	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
80	Venturias de Aluminio 5"Ø	\$ 130.00	\$10,400.00
80	Bolsas de Polipropileno 10'	\$ 1,169.00	\$93,520.00
80	Abrazaderas de barril 5"Ø	\$ 110.00	\$ 8,800.00
40	Abrazaderas sin fin 1"Øinox.	\$ 42.10	\$ 1,684.00

....

10	Válvulas Solenoides 8262D2	\$ 4,111.00	\$41,110.00
10	Válvulas de Diafragma 8353C3	\$ 5,131.00	\$51,310.00
1	Timmer 10 posiciones 110 V.	\$22,300.00	\$22,300.00
1	Chapa	\$ 250.00	\$ 250.00
8	Chavetas	\$ 2.00	\$ 16.00
80	Tornillos hex. $\frac{1}{4}$ "x2" GALV.	\$ 6.60	\$ 528.00
4	Tornillos cabeza gota 3/16"x 3" con tuerca	\$ -	\$ -
136	Tornillos hex. 3/8"x1 $\frac{1}{2}$ " con tuerca	\$ 8.78	\$ 1,194.08
18	Pijas 3/10"Øx1"	\$ 1.55	\$ 27.90
320	Remaches "pop" 3/16"Øx1"	\$ 7.09	\$ 2,268.80
3	Mangueras de neopreno $\frac{1}{4}$ "x $\frac{1}{2}$ "	\$ 575.03	\$ 1,725.09
24	Empaques de neopreno	\$ 14.71	\$ 353.04
1.77m	Tubo negro 3"Ø Ced.40	\$ 764.51	\$ 1,364.18
25.6m	Tubo negro 3/4"Ø Ced.40	\$ 552.21	\$14,136.57
0.6 m	Tubo de cobre 1/8"Ø	\$ 124.52	\$ 74.71
0.432Kg	Cold Roll 3/8"Ø	\$ 48.50	\$ 20.95
0.200Kg	Cold Roll $\frac{1}{4}$ "Ø	\$ 63.22	\$ 12.64
2.88 Kg	Cold Roll $\frac{1}{2}$ "Ø	\$ 135.25	\$ 389.52
37 Kg	\mathcal{L} 3"x6.1Kg/mt	\$ 49.53	\$ 1,832.61
97.76Kg	\mathcal{X} $\frac{1}{4}$ "x4"x4"	\$ 50.09	\$ 4,896.79
3.049Kg.	\mathcal{X} 3/16"x1 $\frac{1}{2}$ "x1 $\frac{1}{2}$ "	\$ 46.00	\$ 140.25
42 Kg	\mathcal{R} $\frac{1}{4}$ " A.C.	\$ 57.80	\$ 2,427.60
237 Kg	\mathcal{R} 3/8" A.C.	\$ 57.80	\$13,702.93
12 lt	Primmer rojo óxido	\$ 415.63	\$ 4,987.56
6 lt	Esmalte blanco	\$ 317.38	\$ 1,904.28
165.384Kg	Sólera A.C. 3/8"x1 $\frac{1}{2}$ "	\$ 44.90	\$ 7,425.74
3.212Kg	Solera A.C. $\frac{1}{4}$ "x2 $\frac{1}{2}$ "	\$ 44.90	\$ 144.21

3.049Kg	Solera A.C. $\frac{1}{4}$ "x1 $\frac{1}{2}$ "	\$ 44.90	\$ 136.90
830.6Kg	Lámina negra Cal.12	\$ 67.36	\$55,949.68
14.48Kg	Lámina negra Cal.18	\$ 77.00	\$ 1,114.96
20 Kg	Soldadura 60-18	\$ 255.72	\$ 5,114.40
231.2Kg	Alambre galvanizado Cal.11	\$ 71.54	<u>\$16,540.04</u>

COSTO TOTAL POR PARTES.....\$367,803.44

Estos costos fueron solicitados a los diferentes proveedores en Marzo de 1984.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La contaminación atmosférica, puede ser controlada por un Instrumento Legislativo que regule el Control de la Calidad del Aire dentro del Aspecto Legal y con la tecnología - más adecuada y disponible en el país.

En lo que respecta al enfoque del Reglamento existente en México, se encuentran diversos aspectos que deberían incluirse, entre los que destacan:

a) Falta de regionalización.

Los valores fijados como límite de las emisiones, son de - caracter federal.

b) Falta de clasificación de la composición química y por tamaño de las partículas.

Por lo anterior se recomienda dar un nuevo enfoque a la legislación existente, donde se deberán de proporcionar las bases para llevar a cabo la Regionalización del país, y de ésta forma hacer que el factor ambiental sea tomado en cuenta para la ubicación de las industrias.

Por lo que toca al diseño del Equipo de Control de Emisiones de Polvos, éste es llevado a cabo de acuerdo a los lineamientos y necesidades que se tienen en los países altamente industrializados, como es el caso de Estados Unidos, Alemania y Japón entre otros, aplicándose en México, debido a-

su alto costo, solo en la industria mayor, como es el caso de la Industria del Cemento. De ésta forma, es necesario fomentar el desarrollo de la tecnología adecuada para las necesidades propias que el mismo país requiere, es decir, diseñar equipo para la pequeña y mediana industria.

La Industria del Cemento causa actualmente uno de los mayores impactos ecológicos en lo que a extensión se refiere, como se puede observar en las cercanías de cualquier centro de producción, por lo que las emisiones permitidas a este tipo de industrias deben de restringirse lo más posible. A pesar de que se han tomado medidas especiales para evitar la Contaminación Ambiental mediante el establecimiento de equipos anticontaminantes como los descritos en este trabajo, estos nunca reciben un mantenimiento adecuado que hace disminuir su eficiencia, debido a que la política empresarial ha sido la de conservar en buen estado todo el equipo involucrado en la producción del Cemento, no siendo este el caso del Equipo de Control.

El abatimiento de la contaminación debe de ser la primera consideración que se debe de tener en cuenta en la operación de las plantas cementeras, siendo la producción la segunda, pero debido a la actual crisis que se presenta en las mismas, ocasionada por el decaimiento de la Industria de la Construcción, no permite tomar medidas más estrictas en cuanto a la legislación existente se refiere.

Muchos de los factores que intervienen en el diseño

....

de los Equipos de Control, están basados en la experiencia, - como es el caso de la relación aire a tela, así como la selección de la propia tela, en donde el fabricante da recomendaciones dependiendo del polvo a captar.

Es importante mencionar que para obtener eficiencias mayores, cercanas al 99.9%, se pueden colocar diferentes Equipos de Control en serie, como es el caso de los ciclones y los Colectores de Bolsas.

Las expresiones desarrolladas pueden utilizarse con bastante confiabilidad para obtener los parámetros de diseño recomendados a pesar de haber sido obtenidas en forma empírica.

Por último, se aplicaron los parámetros recomendados en el Capítulo III para la Selección del Equipo de Control dentro del Area de Envasado, así como la evaluación económica, para lo cual se tomaron valores actuales que rigen en el mercado.

De lo anterior se puede concluir, que el procedimiento descrito toma en cuenta los parámetros más importantes a considerar en la Selección del Equipo de Control de Emisiones de Polvo, así también es una guía para que el Ingeniero Ambiental conozca las diferentes alternativas que puede utilizar para lograr un buen Control de la Contaminación del Aire con la mejor tecnología disponible hasta el momento.

B I B L I O G R A F I A .

- (1) CAMARA NACIONAL DEL CEMENTO. Anuario 1981
- (2) PRONTUARIO DEL CEMENTO. Otto Labahn. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona 1966
- (3) INDUSTRIAL VENTILATION. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. 1978.
- (4) AIR POLLUTION CONTROL EQUIPMENT. Griffin Environmental Co. Inc. Baldwinsville, N.Y. 13027
- (5) MECANICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS HIDRAULICAS. 2ª Edición. Claudio Mataix. Editorial Harla. 1982.
- (6) AIR POLLUTION CONTROL ENGINEERING. William Licht. Editorial Marcel Dekker, Inc. N.Y. 1980.
- (7) AIR POLLUTION ENGINEERING MANUAL. 2ª Edición. U.S. Environmental Protection Agency.
- (8) PRINCIPLES AND APPLICATIONS OF FABRIC FILTRATION. Dr. Hal B.J. Cooper, Jr. 1980 Conferencia: Control of Industrial Emission to the atmosphere.
- (9) FIBRAS Y TELAS USADAS EN LA FABRICACION DE BOLSAS FILTRO. Ing. Vicente Ladaga Garza. División Tejidos Industriales. Albany Nordiska de México, S.A.
- (10) DESIGN, OPERATION AND MAINTENANCE OF HIGH EFFICIENCY PARTICULATE CONTROL EQUIPMENT. Specialty Conference: St. Louis, Missouri. March, 1973.