

12
2ej



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

**Control de la Contaminación Atmosférica Ocasionada
por la Planta de Asfalto del Departamento
del Distrito Federal**

T E S I S
Que para obtener el título de:
ingeniero químico
p r e s e n t a :
CELSO BERBER VAZQUEZ



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 está 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

INTRODUCCION	1
CAPITULO I. - PRODUCCION DE LA MEZCLA ASFALTICA	3
I. 1. - LA PLANTA 5	3
I. 1. 1. - DESCRIPCION DEL PROCESO	3
I. 1. 2. - SISTEMA DE CONTROL AMBIENTAL	6
I. 2. - LA PLANTA 6.....	6
I. 2. 1. - DESCRIPCION DEL PROCESO	6
I. 2. 2. - SISTEMA DE CONTROL AMBIENTAL	8
I. 3. - LA PLANTA 7	9
I. 3. 1. - DESCRIPCION DEL PROCESO	9
I. 3. 2. - SISTEMA DE CONTROL AMBIENTAL	11
CAPITULO II. -CONTAMINACION ATMOSFERICA OCASIONADA POR LA PLANTA DE ASFALTO DEL D.D.F.	13
II. 1. - CONTAMINACION ATMOSFERICA OCASIONADA POR LA EMI- SION DE PARTICULAS	13
II. 1. 1. - EFECTOS DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA POR - PARTICULAS SOBRE LA ATMOSFERA.....	14
II. 1. 2. - EFECTOS DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA SALUD	14
II. 1. 2. 1. - LA SILICOSIS	14
II. 2. - CONTAMINACION ATMOSFERICA OCASIONADA POR LA --- EMISION DE GASES DE COMBUSTION	15
II. 2. 1. - HIDROCARBUROS PARCIALMENTE OXIDADOS	15
II. 2. 1. 1. - HUMO NEGRO	15
II. 2. 1. 2. - HUMO BLANCO	15
II. 2. 2. -CENIZAS U OXIDOS DE AZUFRE, ATRIBUIDOS A LA COM- POSICION DEL COMBUSTIBLE	16
II. 2. 2. 1. -EMISION DE PARTICULAS	16
II. 2. 2. 2. - OXIDOS DE AZUFRE	16
II. 2. 3. - OXIDOS DE NITROGENO	17
II. 3. - DAÑOS A LA SALUD OCASIONADOS POR LOS GASES DE COMBUSTION	18
II. 3. 1. - HIDROCARBUROS	18
II. 3. 2. - OXIDOS DE CARBONO	18

II. 3. 3. - OXIDOS DE AZUFRE	18
II. 3. 4. - OXIDOS DE NITROGENO	19
II. 4. - ELEMENTOS JURIDICOS PARA EL CONTROL DE LA CONTA-- MINACION ATMOSFERICA	20
CAPITULO III. -EVALUACION DEL EQUIPO ANTICONTAMINANTE	22
III. 1. - EQUIPO DE MEDICION	23
III. 1. 1. - MUESTREADOR ISOCINETICO	23
III. 1. 1. 1.- PRINCIPIOS DE OPERACION	25
III. 1. 2.- EL TUBO DE PITOT	26
III. 1. 3.- MANOMETRO EN "U" E INCLINADO	27
III. 1. 4. - TERMOMETRO METALICO	27
III. 2. - LA PLANTA 5.....	27
III. 2. 1. - DETERMINACION TEORICA DE LA EFICIENCIA DE CO- LECCION DE PARTICULAS EN EL CICLON GRANDE	28
III. 2. 2. - DETERMINACION TEORICA DE LA EFICIENCIA DE CO- LECCION DE PARTICULAS EN COLECTORES CICLONICOS PEQUEÑOS	34
III. 2. 3. - DETERMINACION TEORICA DE LA EFICIENCIA DE CO- LECCION DE PARTICULAS EN EL COLECTOR DE BOLSAS....	37
III. 2. 4. - DETERMINACION TEORICA DE LA EMISION DE SO ₂	40
III. 3. - LA PLANTA 6	42
III. 3. 1. - FLUJO DE AGUA MANEJADA	46
III. 3. 2.- EFICIENCIA DE COLECCION DE PARTICULAS EN EL LAVADOR HUMEDO	46
III. 3. 3. - DETERMINACION TEORICA DE LA EMISION DE SO ₂	47
III. 4. - LA PLANTA 7	49
III. 4. 1. - RESULTADOS OBTENIDOS EN EL COLECTOR DE BOLSAS	49
III. 4. 2. - RESULTADOS OBTENIDOS EN LA CHIMENEA	54
III. 4. 2. 1. - DETERMINACION DEL NUMERO DE PUNTOS DE MUESTREO	54
CAPITULO IV .-CONCLUSIONES	59
IV. 1. - PARA LA PLANTA 5.....	59
IV. 2. - PARA LA PLANTA 6	60
IV. 3. - PARA LA PLANTA 7	61

CAPITULO V. - RECOMENDACIONES PARA EL CONTROL DE GASES Y PARTICULAS	62
V. 1. - PARA EL CONTROL DE PARTICULAS	62
V. 1. 1. - PARA EL SISTEMA DE TRITURACION	62
V. 1. 1. 1. - PROCEDIMIENTO DEL BALANCEO	63
V. 1. 1. 2. - DISEÑO DEL COLECTOR DE BOLSAS	67
V. 1. 1. 3. - SELECCION DEL VENTILADOR	69
V. 1. 1. 4. - REQUERIMIENTOS DE MATERIAL PARA EL SISTEMA DE TRITURACION	71
V. 1. 2. - PARA LA PLANTA 5.....	72
V. 1. 3. - PARA LA PLANTA 6	74
V. 1. 3. 1. - RECUBRIMIENTO DEL LAVADOR HUMEDO	74
V. 1. 3. 2. - SUMINISTRO DE AGUA LIMPIA AL LAVADOR HUMEDO	76
V. 1. 4. - PARA LA PLANTA 7	76
V. 2. - PARA EL CONTROL DE LAS EMISIONES DE SO ₂	76
APENDICE	78
FIGURA A-1. -DETERMINACION DEL NUMERO DE PUNTOS DE PRUEBA EN CONDUCTOS.	
FIGURA A-2. -DETERMINACION DE LAS POSICIONES DE LOS PUNTOS DE PRUEBA EN CONDUCTOS DE SECCION CIRCULAR.	
FIGURA A-3. -GRAFICA PARA LA DETERMINACION DE LA EFICIENCIA PARCIAL DE COLECCION DE PARTICULAS PARA CICLONES.	
FIGURA A-4. -LONGITUD EQUIVALENTE PARA CODOS NORMALES (ESTANDAR) Y ENTRADAS.	
FIGURA A-5. -PERDIDAS POR FRICCION EN DUCTOS Y TUBERIAS, EN mm de c. a. /METRO.	
FIGURA A-6. -PERDIDAS DE PRESION A LA ENTRADA DE CAMPANAS.	
TABLA A-1. -EQUIVALENCIAS ENTRE LAS UNIDADES MAS IMPORTANTES .	
TABLA A-2. -PORCIENTO DEL DIAMETRO DEL CONDUCTO DESDE LA PARED INTERNA HASTA EL PUNTO TRANSVERSAL.	

TABLA A-3. -ALGORITMO DE CALCULO PARA LA INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS DEL MUESTREO --- ISOCINETICO.

TABLA A-4. -PRESION DINAMICA PARA DIFERENTES VELOCIDADES.

Tabla A-5. -FACTORES PARA EL CALCULO DE LA RELACION DE FILTRACION:

TABLA A-6. -FACTORES DE CORRECCION POR ELEVACION Y TEMPERATURA .

LISTA DE SIMBOLOS	95
BIBLIOGRAFIA	99

INTRODUCCION

La Comisión de Ecología del Departamento del Distrito Federal, ante la problemática ambiental prevalecte en la Ciudad de México, optó por controlar la emisión de contaminantes al medio ambiente en dependencias del propio Departamento del Distrito Federal, seleccionándose dentro del Proyecto Demostrativo de Contaminación de Fuentes Fijas, a la Planta de Asfalto.

El proceso de obtención de la mezcla asfáltica hace inevitable la emisión de contaminantes a la atmósfera, para ello, se requiere adaptar equipos de control apropiados para coleccionar no solamente la emisión de partículas, sino también los gases de combustión (requeridos para el secado del agregado (material pétreo triturado)).

La presente tesis se ha realizado con el propósito de plantear alternativas de solución a los problemas de contaminación prevalectes en la Planta de Asfalto. Se realizará una evaluación del equipo de control instalado, se verificará su funcionamiento, diagnosticando las probables fallas que puedan presentarse en la operación del mismo.

La determinación del flujo en diferentes puntos del equipo de control se llevará a cabo siguiendo lo establecido por la Norma Oficial Mexicana para la determinación del flujo de gases en un conducto por medio del tubo de pitot. La emisión de partículas y óxidos de azufre se evaluará de acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas respectivas.

Con la caracterización de diseño de los equipos de control instalados, se determinará la eficiencia de colección de partículas, comparándose con lo establecido en el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica originada por la emisión de Humos y Polvos, mencionando el porcentaje -

de desviación con dicho Reglamento.

Para determinar la emisión de bióxido de azufre (SO_2), se analizará periódicamente el diesel utilizado, para cuantificar el porcentaje de azufre presente en él y con el consumo de diesel por tonelada producida de mezcla asfáltica y el flujo volumétrico a la salida de la chimenea, se evaluará la emisión teórica (donde no sea posible realizar muestreos isocinéticos) de bióxido de -- azufre en cada Planta. Actualmente, en la República Mexicana no existe Ley o Reglamento que establezca la emisión de SO_2 máxima permisible en Industrias; los resultados que se obtengan se compararán con el Reglamento de San Francisco California (el cual establece una emisión máxima permisible de SO_2 de 300 ppm), mencionando para cada Planta, el porcentaje de desviación de más o de menos que se separen de dicho Reglamento.

Se espera que el presente estudio lleve a plantear soluciones -- prácticas para controlar la emisión tanto de partículas como de gases de combustión (principalmente óxidos de azufre) en la Planta de Asfalto del Departamento del Distrito Federal.

CAPITULO I

PRODUCCION DE LA MEZCLA ASFALTICA.

La Planta de Asfalto del Departamento del Distrito Federal, cuenta con tres plantas productoras de mezclas asfálticas,-- clasificadas como: Planta 5, Planta 6 y Planta 7. Las mate--- rias primas utilizadas son:

- Asfalto; proveniente de las Refinerías de Tampico Tamps. y Salamanca Gto.
- Material Pétreo (basáltico), obtenido del Pedregal de Star-Ursula y de terrenos pertenecientes a la Universidad Nacio-
nal Autónoma de México.

Tiene como sistema de trituración:

- Trituradoras de quijadas
- Trituradoras de rodillos y
- Trituradoras de conos.

De las trituradoras, el material triturado es transportado a tres diferentes conjuntos, de donde, por medio de transportadores de bandas es conducido a las tres diferentes plantas -- productoras, en donde se llevará a cabo la producción de la - mezcla asfáltica.

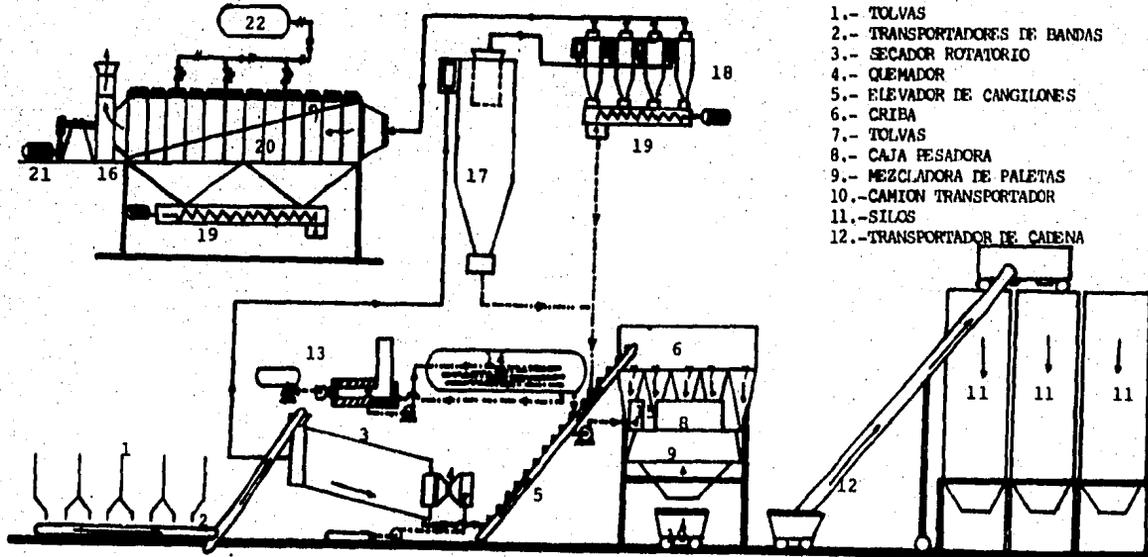
I. 1. - LA PLANTA 5.

I.1.1. - DESCRIPCION DEL PROCESO (Figura 1).

La capacidad nominal o de diseño de la Planta 5 es de 300 -- ton/hr; pero regularmente se trabaja a una capacidad de 180 a 200 ton/hr de producción de mezcla asfáltica.

La mezcla asfáltica consiste de material triturado y asfalto-- en una proporción promedio de 94 y 6% respectivamente. El ma- terial triturado es suministrado de unas tolvas (1) por medio de transportadores de bandas (2) a un secador rotatorio(3) -- (Figura 2), con el propósito de que posteriormente se realice una perfecta adherencia entre el asfalto y el material criba

FIGURA 1.- DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL PROCESO DE OBTENCION DE LA MEZCLA ASFALTICA EN LA PLANTA 5.



- 1.- TOLVAS
- 2.- TRANSPORTADORES DE BANDAS
- 3.- SECADOR ROTATORIO
- 4.- QUEMADOR
- 5.- ELEVADOR DE CANGILONES
- 6.- CRIBA
- 7.- TOLVAS
- 8.- CAJA PESADORA
- 9.- MEZCLADORA DE PALETAS
- 10.-CAMION TRANSPORTADOR
- 11.-SILOS
- 12.-TRANSPORTADOR DE CADENA

- MATERIAL PETREO.
- AIRE CON POLVO.
- AIRE COMPRIMIDO.
- - - DIESEL.
- - - ASFALTO.
- - - ACEBITE TERMICO.
- - - POLVO COLECTADO

- 13.-CALENTADOR
- 14.-TANQUE DE ASFALTO
- 15.-COMPARTIMIENTO PARA ASFALTO
- 16.-VENTILADOR
- 17.-CICLON PRIMARIO
- 18.-CICLONES SECUNDARIOS
- 19.-TRANSPORTADOR DE GUSANO
- 20.-COLECTOR
- 21.-MOTOR
- 22.-COMPRESOR

TESIS PROFESIONAL	
CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA OCASIONADA POR LA PLANTA DE ASFALTO DEL D.D.F.	
Fuente:	
COMISION DE ECOLOGIA	
Celso Barber Vázquez	1985

do.

La piedra o material triturado, llega con una humedad de 2 a 3% en condiciones normales de operación, por lo que se desprenden en promedio, alrededor de 475 Kg/hr de vapor de agua. La humedad se elimina calentando el material triturado de 120 a 140 °C con calor proveniente de los gases de combustión de un quemador (4) que utiliza como combustible el diesel. Los gases de combustión fluyen a flujo a contracorriente con el material triturado, consumiéndose alrededor de 6 litros de diesel por tonelada producida de mezcla asfáltica.



Figura 2.- Secador rotatorio de la Planta 5.

El material triturado seco, cae a un elevador de cangilones (5) que a su vez lo deposita en una criba (6), seleccionándose para su depósito en 5 tolvas diferentes (7); hecho lo anterior, se procede a pesar tanto el material cribado como el asfalto en una caja pesadora (8), en una proporción material cribado-asfalto previamente establecida; acto seguido, se deja caer el material cribado y el asfalto a una mezcladora de paletas (9), donde se produce la mezcla asfáltica, mezclándose durante un minuto (periodo de tiempo entre lote y lote) para finalmente ser descargado al camión transportador (10) o removido a unos silos de almacenamiento (11) por medio de un transportador de cadenas (12), para su posterior aprovechamiento.

El asfalto suministrado a la mezcladora de paletas, se calienta previamente a una temperatura de 120 a 140 °C por medio de un aceite térmico, que remueve el calor de un pequeño calentador (13), haciéndose fluir por un serpentín que se encuentra dentro del depósito que contiene el asfalto (14). El asfalto calentado es bombeado a un compartimento (15),

donde es pesado y después adicionado a la mezcladora.

I. 1. 2. - SISTEMA DE CONTROL AMBIENTAL

Durante la carga del material triturado al secador rotatorio (3), se produce desprendimiento de polvo, el cual es extraído

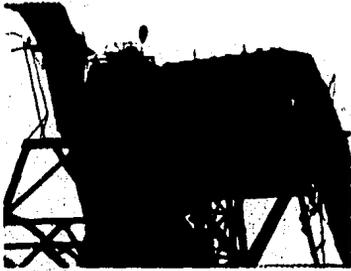


Figura 3. - Colectores ciclónicos de la Planta 5.

do (al igual que los gases de combustión y el vapor de agua) por el extractor del equipo de control, siendo colectados en un ciclón primario (17). Los polvos no colectados en el anterior equipo de control, pasan a una batería de ciclones pequeños (8) (Figura 3); el polvo colectado en éste

último equipo de control, al igual que el polvo colectado en el ciclón primario, es llevado por medio de un transportador sin fin (19), al elevador de cangilones (5), donde se combina con el material triturado. Los polvos no retenidos en los anteriores sistemas de control, son pasados a un colector de bolsas (20), que contiene 11 módulos con 50 bolsas por módulo. Los polvos que no logren retenerse en el colector de bolsas, son descargados a la atmósfera por la chimenea.

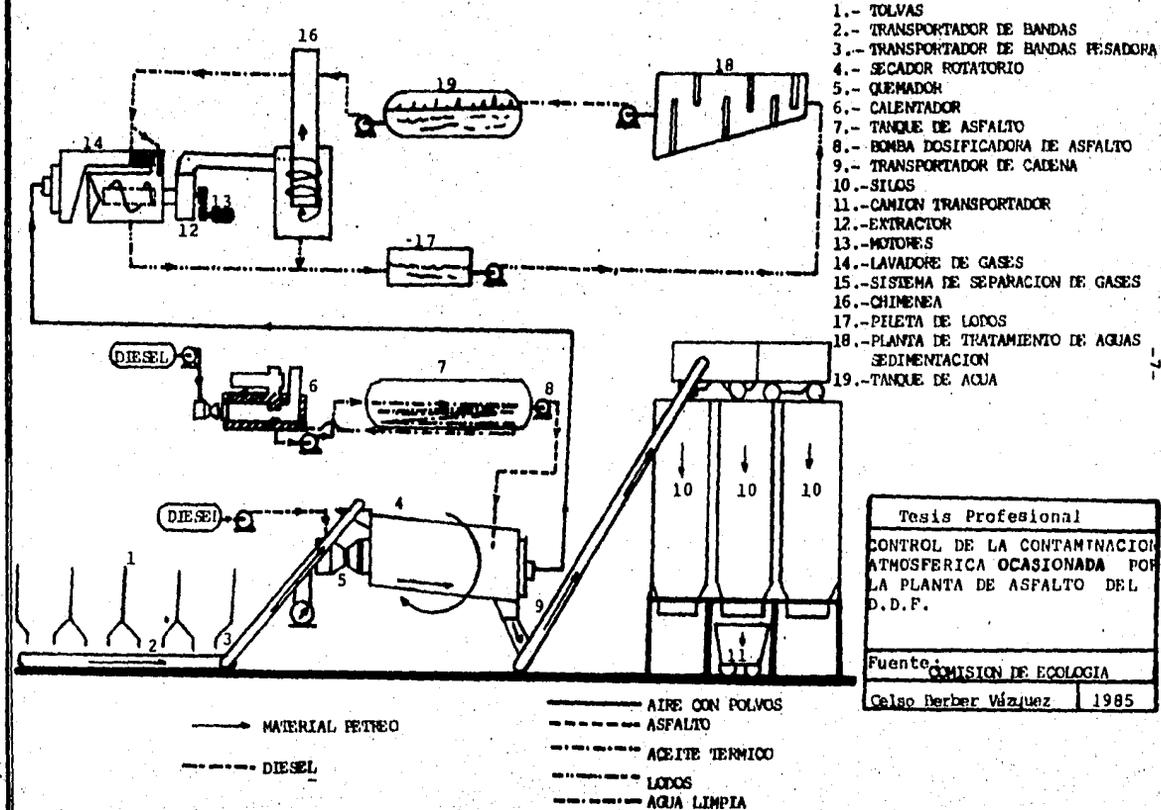
La capacidad de diseño del extractor (16) es de 110 000 m³ /-hr y es accionado por dos motores de 150 H.P. (21). La velocidad de los gases a la salida de la chimenea, es de aproximadamente 15 m/seg.

El sistema de limpieza del colector de bolsas es por medio del suministro de aire comprimido a contracorriente, proveniente de un compresor (22), a una presión aproximada a las 100 lb/in². Esta última operación es automática.

I. 2. - LA PLANTA 6.

I. 2. 1. - DESCRIPCION DEL PROCESO (Figura 4).

FIGURA 4.- DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL PROCESO DE OBTENCION DE LA MEZCLA ASFALTICA EN LA PLANTA 6.



La capacidad nominal de la Planta 6 es de 600 ton/hr, pero se trabaja normalmente a una capacidad de 290 ton/hr y se consumen en promedio, 4 litros de diesel por tonelada producida de mezcla asfáltica.

El material triturado es llevado a unas tolvas de almacenamiento (1), por un transportador de bandas (2) a una "banda-transportadora pesadora" (3) y de ésta última, al secador rotatorio (4).

El calor de un horno (5), producido por la combustión del diesel, es empleado para eliminarle la humedad al material triturado. Los gases de combustión son introducidos en flujo paralelo con el material triturado en el secador rotatorio, calentándose el material triturado de 120 a 140 °C, con el propósito de que se realice una mezcla homogénea material triturado-asfalto, al eliminarle la humedad presente en aquel. La mezcla asfáltica contiene en promedio 94 y 6% de material triturado y asfalto, respectivamente (proporción previamente establecida).

El asfalto se precalienta de 120 a 140 °C por medio de un aceite térmico, que remueve el calor de un pequeño calentador (6) haciéndose fluir por un serpentín que se encuentra dentro del depósito que contiene el asfalto (7). El asfalto-precalentado, se dosifica por medio de una bomba reguladora de flujo (8) al material triturado, espreándose en el secador rotatorio. Con éste sistema de fabricación continua de la mezcla asfáltica, se eliminan parte de los polvos desprendidos en el proceso de secado.

Esta Planta no necesita unidad mezcladora, ya que la mezcla asfáltica se realiza en el secador rotatorio. Posteriormente, un transportador de rastras (9) la lleva a tres silos de almacenamiento (10) para finalmente ser descargada a los camiones transportadores (11).

I. 2. 2. - SISTEMA DE CONTROL AMBIENTAL

Los polvos y gases desprendidos durante el proceso de secado del material triturado, son succionados por un extractor (12) (de una capacidad nominal de 100 000 m³/hr y accionado por 2 motores de 100 H.P. (13), pasando por un lavador de gases tipo húmedo (14) (Figura 5), donde se esprea agua por medio de tres tubos (cada tubo tiene 10 espreas). Los polvos, gases y lodos; entran a un compartimiento donde son separados por medio de un sistema de aletas fijas (15). El vapor de agua producido, además de los polvos y gases que no fueron retenidos en el colector húmedo, son llevados a la chimenea (16) (Figura 6), por donde son descargados a la atmósfera. La mezcla obtenida de lodos, es conducida a una pileta de asentamiento (17) donde parte de los polvos se sedimentan y lo demás, es llevado a una alberca de sedimentación (18), en la cual se sedimentan los polvos restantes. El agua tratada de esta forma, es bombeada a un depósito (19) para su uso posterior, recirculándose al colector húmedo.



Figura 5. -Lavador de gases y polvos tipo venturi.

de aletas fijas (15). El vapor de agua producido, además de los polvos y gases que no fueron retenidos en el colector húmedo, son llevados a la chimenea (16) (Figura 6), por donde son descargados a la atmósfera. La mezcla obtenida de lodos, es conducida a una pileta de asentamiento (17) donde parte de los polvos se sedimentan y lo demás, es llevado a una alberca de sedimentación (18), en la cual se sedimentan los polvos restantes. El agua tratada de esta forma, es bombeada a un depósito (19) para su uso posterior, recirculándose al colector húmedo.



Figura 6. - Chimenea de la Planta 6.

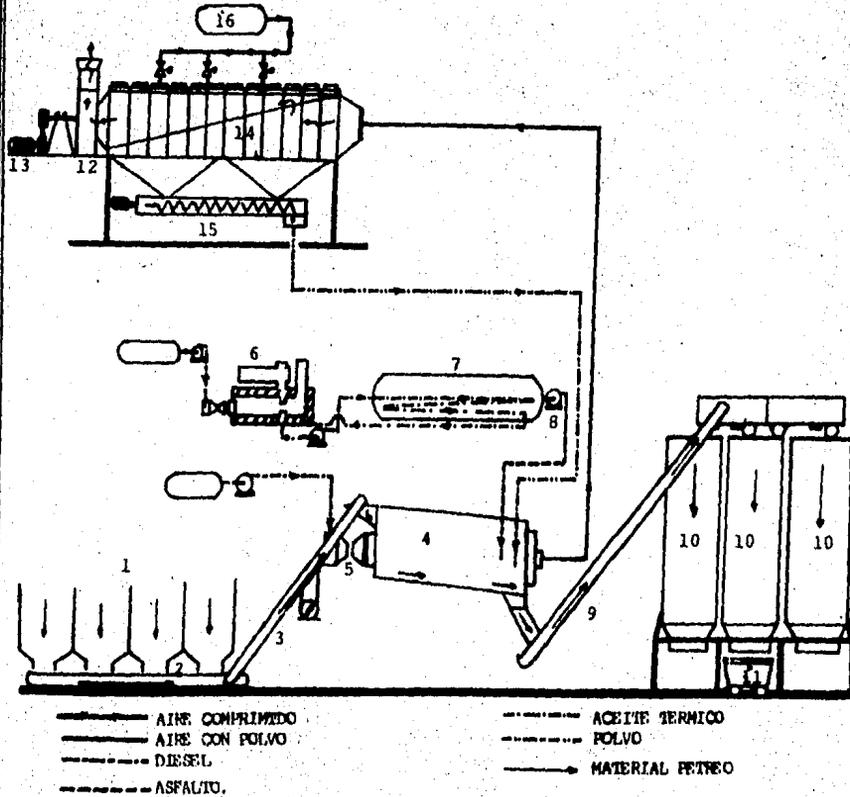
I. 3.- LA PLANTA 7.

I. 3.1. - DESCRIPCION DEL PROCESO (Figura 7).

La capacidad nominal de la Planta 7 es de 400 ton/hr, pero normalmente se trabaja a una capacidad de 320 a 350 ton/hr.

El material triturado es llevado de unas tolvas (1) por medio de un transportador de bandas (2) a una "banda transpor-

FIGURA 7.- DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL PROCESO DE FABRICACION DE LA MEZCLA ASFALTICA EN LA PLANTA 7.



- PROCESO:
- 1.- TOLVAS
 - 2.- TRANSPORTADOR DE BANDAS
 - 3.- TRANSPORTADOR DE BANDAS "PRESADORA".
 - 4.- SECADOR ROTATORIO
 - 5.- QUEMADOR.
 - 6.- CALENTADOR
 - 7.- TANQUE DE ASFALTO.
 - 8.- BOMBA DOSIFICADORA DE ASFALTO.
 - 9.- TRANSPORTADOR DE CADENAS.
 - 10.- SILOS.
 - 11.- CAMION TRANSPORTADOR.
 - 12.- VENTILADOR
 - 13.- MOTOR DEL VENTILADOR.
 - 14.- COLECTOR DE BOLSAS
 - 15.- TRANSPORTADOR SINFIN.
 - 16.- COMPRESOR.

TESIS PROFESIONAL.	
CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA OCASIONADA POR LA PLANTA DE ASFALTO DEL DDF.	
Fuente: COMISION DE ECOLOGIA	
Oslo Barber Vázquez	1985.

tadora pesadora" (3), la cual lo conduce al secador rotatorio (4), que trabaja en flujo paralelo con los gases de combustión, provenientes de un quemador (5) que utiliza como combustible el diesel y consumiéndose en condiciones normales de operación, alrededor de 5 litros de diesel por tonelada producida de mezcla asfáltica.

El porcentaje promedio de material triturado y asfalto, es de 94 y 6%, respectivamente.

El asfalto se precalienta a una temperatura de 120 a 140 °C con un aceite térmico, el cual remueve el calor de un calentador (6) y se hace fluir por un serpentín que se encuentra dentro del depósito que contiene el asfalto (7).

El asfalto calentado es suministrado por medio de una bomba-medidora de flujo (8) al secador rotatorio donde se dosifica al material triturado y a los polvos recirculados del colector de bolsas, efectuándose de esta forma la mezcla asfáltica en forma continua, la cual es transportada por medio de un elevador de cangilones (9) a tres silos de almacenamiento (10), de donde finalmente se descarga a los camiones transportadores (11).

I. 3. 2. - SISTEMA DE CONTROL AMBIENTAL.

Los gases, polvos y vapores que se desprenden durante el proceso de secado del material triturado en el secador rotatorio, son succionados por un extractor de baja presión (12) de una capacidad nominal de 110 000 m³/hr y accionado por un motor de 200 H. P. (13). El extractor hace pasar los gases y polvos a través de un colector de bolsas (14) que contiene 900 bolsas (100 bolsas por módulo). En éste sistema de control, se retiene una gran cantidad de polvo. El polvo no colectado, es descargado a la atmósfera.

Parte de los polvos retenidos en el colector de bolsas, son llevados por medio de un transportador sinfin (15), a un compartimento, de donde una porción es recirculada al secador rotatorio.

El sistema de limpieza del colector de bolsas, consiste en - suministrar aire comprimido a contracorriente, proveniente de un compresor (16), que los descarga a una presión de aproximadamente 100 lb/in². Esta operación es automática.

CAPITULO II

CONTAMINACION ATMOSFERICA OCASIONADA POR LA PLANTA DE ASFALTO.

Los problemas principales de contaminación ocasionados por la Planta de Asfalto, son los relacionados a la emisión de partículas y a la emisión de gases de combustión.

II. 1. - CONTAMINACION ATMOSFERICA OCASIONADA POR LA EMISION DE PARTICULAS.

Los principales orígenes de la emisión de partículas son:

- Trituradoras
- Cribas de vibración
- Descarga de las bandas transportadoras
- Tolvas
- Secador rotatorio
- Transportador de cangilones
- Mezclador (en las plantas que operan por lotes).
- Silos de almacenamiento.

El origen mas grande de las emisiones de polvo, es el secador rotatorio, emitiéndose arriba de 3000 Kg/hr. La emisión de polvos en el secador rotatorio aumenta con incrementos en la masa velocidad del aire, velocidad de alimentación del material triturado y velocidad de rotación; pero son independientes de la inclinación del secador.

La distribución del tamaño de partículas al secador rotatorio, tiene un efecto apreciable en la descarga de polvos. Alrededor del 55% de los polvos que pasan la malla del No. 200 (diámetro de 67 micras) en la alimentación al secador rotatorio, pueden perderse en el proceso. Las emisiones de polvo en los orígenes secundarios, varía con la cantidad de material fino en la alimentación y las condiciones mecánicas del equipo.

II. 1. 1. - EFECTOS DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA POR PARTICULAS SOBRE LA ATMOSFERA.

Los contaminantes en forma de partículas, pueden obstaculizar la transmisión del calor del Sol a la Tierra, reflejando una porción de los rayos solares lejos de ésta. Se ignora la cantidad de calor perdida de esta forma. Una pérdida importante de la energía del Sol reduciría, en última instancia, el promedio de temperatura de la Tierra, lo que ocasionaría otra época glacial.

II. 1. 2. - EFECTOS DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA POR PARTICULAS EN LA SALUD.

El exceso de polvo en la atmósfera propicia una reducción en la visibilidad y enfermedades del tipo respiratorio tales como: la bronquitis y malestares frecuentes en las vías respiratorias y una enfermedad que actualmente se está tomando bastante en consideración: LA SILICOSIS.

II. 1. 2. 1. - LA SILICOSIS.

El polvo se supone ser el causante directo de la silicosis, siendo la dimensión de las partículas de 1 a 3 micras, las que llegan y se estacionan en los pulmones y aunque son varias las teorías sobre el proceso que origina la formación de las lesiones, queda fuera de duda que son aquellas las que deben ser objeto de una mayor atención, pues las de mayor tamaño, difícilmente llegan a los pulmones, según ha podido comprobarse. En cuanto a la clase de polvo, evidentemente son los derivados de la sílice los más nocivos. La nocividad aumenta cuando el polvo presenta aristas vivas, como es caso de los compuestos empleados, precisamente por su acción cortante y abrasiva.

Otro aspecto grave del polvo conteniendo sílice, proviene del hecho de que su efecto no es de igual intensidad en todas las personas, se presenta después de un periodo que puede ser de años de actuar sigilosamente en el organismo. Por ello, cuando se manifiesta en las primeras radiografías, aún

sin presentar indicios típicos de su existencia, la lesión ya se ha producido. La silicosis no solo es irreversible (no desaparece por efectos de tratamiento), sino además de dudosa - estabilización y mientras tanto, puede dar lugar a complicaciones pulmonares e incluso cardiovasculares.

II. 2.- CONTAMINACION ATMOSFERICA OCASIONADA POR LA EMISION DE GASES DE COMBUSTION.

Los gases de combustión son desprendidos en el proceso de secado del material triturado, al quemar el diesel utilizado para dicho propósito:

Los contaminantes del aire generados por el quemado de combustible, caen dentro de tres categorías:

II. 2.1. - HIDROCARBUROS PARCIALMENTE OXIDADOS -

Son el resultado de una combustión incompleta, sus principales manifestaciones son:

II.2.1.1. - HUMO NEGRO.

Cuando los hidrocarburos son quemados con una deficiencia de oxígeno, pueden formarse algunas partículas de carbono como producto de la combustión; esto es debido a una pobre atomización, mezclado inadecuado o deficiencia de oxígeno. Cuando se produce humo negro, normalmente se asocia con el quemado de combustible residuales, líquidos o sólidos y viscosos o pesados.

El monóxido de carbono (CO), es otro producto de la combustión incompleta del aceite combustible, acompañando normalmente a las emisiones de humo negro. Las acumulaciones de carbono en las chimeneas (conocido normalmente como hollín), es atribuido a la misma causa del humo negro.

II. 2.1.2. - HUMO BLANCO.

El rango de emisiones visibles de gris a café y a blanco, puede apreciarse en el quemado de hidrocarburos líquidos, principalmente. Los humos blancos u opacos, es el resultado de partículas líquidas finamente divididas en la corriente del gas.

Este tipo de contaminación es frecuentemente causado por la vaporización de hidrocarburos en la cámara de combustión, en ocasiones acompañada por crackeo. El humo blanco es frecuentemente atribuido al excesivo aire de combustión (fuego frío) o pérdida de flama (gasificación).

II. 2.2. - CENIZAS U OXIDOS DE AZUFRE, ATRIBUIDOS A LA COMPOSICION DEL COMBUSTIBLE.

Sus principales manifestaciones son:

II. 2.2.1. - EMISION DE PARTICULAS.

Durante el quemado de combustibles, se desprende material en forma de partículas de carbono e hidrocarburos no quemados, así como cenizas inorgánicas. Con el uso adecuado de quemadores, las partículas oxidables (sólidas o líquidas), pueden abatirse, evitando de esta forma su emisión a la atmósfera.

En el lugar donde las concentraciones de partículas no quemadas se acercan a valores límites, la opacidad de los gases de salida es normalmente alta; pudiendo exceder los estándares legales para contaminantes visibles. La ceniza colectada en quemadores eficientes durante una combustión normal, contiene abajo de 10% de carbono y otros constituyentes. La cantidad de partículas sólidas inorgánicas en los gases de salida, es completamente dependiente de las características del combustible. En aceites de combustión residuales, se forma arriba de 0.1% en peso de cenizas inorgánicas, la Tabla 1 muestra un análisis espectroscópico en cenizas de aceite combustible, colectado de quemadores en Plantas.

II. 2.2.2. -OXIDOS DE AZUFRE

Los hidrocarburos combustibles líquidos, contienen azufre en el rango de trazas a más del 5% en peso. Mucho de este azufre se presenta como sulfuros y mercaptanos mal olorosos.

Los aceites destilados contiene tanto como 1% de azufre (S), aunque pueden obtenerse con una composición abajo del 0.3% de azufre. Normalmente, hay mucho azufre en aceites residuales pesados que en combustibles gaseosos y líquidos, conte--

Tabla 1. - Análisis típico de cenizas de aceite combustible.

<u>Constituyentes</u>	<u>% en peso</u>
Hierro	22.99
Aluminio	21.90
Vanadio	19.60
Silicio	16.42
Níquel	11.86
Magnesio	1.78
Cromo	1.37
Calcio	1.14
Sodio	1.00
Cobalto	0.91
Titanio	0.55
Molibdeno	0.22
Plomo	0.17
Cobre	0.05
<u>Plata</u>	<u>0.03</u>
Total	100.00

niendo arriba de 1% en peso de S.

Mucho del azufre presente en el combustible, es convertido a dióxido de azufre (SO_2) durante la combustión. Un aceite residual típico de 1.3% en peso de S, produce una concentración de 1000 ppm de SO_2 cuando se quema con una cantidad teórica de aire.

En algunos procesos de combustión, una pequeña cantidad de S (normalmente no mayor del 5% del total) es convertida a trióxido de azufre (SO_3). El SO_3 es altamente reactivo y extremadamente higroscópico comparado con el SO_2 . Los factores -- que gobiernan la formación del SO_3 en la cámara de combustión son desconocidos, pero se ha encontrado que se producen más fácilmente a altas temperaturas.

II. 2. 3. - OXIDOS DE NITROGENO

Los óxidos de nitrógeno son formados a altas temperaturas en

la cámara de combustión, al combinarse el oxígeno y nitrógeno del aire.

En muchos procesos de combustión, las altas temperaturas en la cámara de combustión producen una fijación de algunos óxidos de nitrógeno; esos compuestos son encontrados en los gases de la chimenea, principalmente óxido nítrico (NO) y cantidades menores de dióxido de nitrógeno (NO₂) y solo trazas de otros óxidos. El NO se oxida a NO₂ a temperaturas ordinarias. La cantidad de NO más NO₂ en una muestra, es determinada y referida como "óxidos de nitrógeno ó NO_x".

II. 3. - DAÑOS A LA SALUD OCASIONADOS POR LOS GASES DE COMBUSTION.

II. 3.1. - HIDROCARBUROS.

La diversidad de los efectos de tales sustancias es muy grande. Algunos de éstos compuestos son cancerígenos, algunos son irritantes y mal olientes, otros experimentan cambios químicos en la atmósfera para producir otros contaminantes.

II. 3.2. - OXIDOS DE CARBONO.

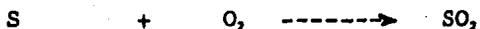
De los óxidos de carbono que se forman en el proceso de la combustión, solo el monóxido de carbono (CO), puede considerarse contaminante; ya que el bióxido de carbono (CO₂) solo en muy grandes cantidades puede producir el efecto invernadero.

El CO es un gas incoloro, inodoro y no irritante, pero es muy tóxico. La concentración máxima permisible en la Industria para trabajadores sanos en una jornada de 8 horas, es de 50 ppm. Una concentración de 1 000 ppm puede producir pérdidas del conocimiento en una hora y la muerte en 4 horas.

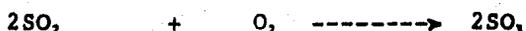
II. 3.3. - OXIDOS DE AZUFRE

Los gases de combustión a los que se hace especial atención en ésta tesis son los óxidos de azufre; debido al alto porcentaje de azufre que contiene el diesel utilizado para el secado del material triturado.

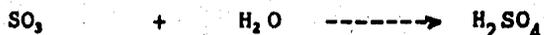
Los óxidos contaminantes del azufre son el dióxido de azufre (SO_2) y el trióxido de azufre (SO_3). Desde el punto de vista de sus efectos dañinos sobre el hombre y las dificultades -- que presenta sobre la atmósfera, el SO_2 es probablemente el contaminante del aire más significativo. El SO_2 se produce -- cuando se quema azufre o combustibles que lo contienen de -- acuerdo a la siguiente reacción:



El SO_2 bajo la influencia de la luz solar y la presencia del oxígeno atmosférico, se transforma en SO_3 :



Además, algo del SO_3 es descargado directamente a partir del proceso de combustión, juntamente con el SO_2 . La humedad presente en la atmósfera reacciona rápidamente con el SO_3 para formar una niebla de ácido sulfúrico (H_2SO_4):



Quando tienen lugar conversiones de esta clase, el material inicialmente introducido a la atmósfera se designa como contaminante primario del aire. Los nuevos compuestos producidos por la reacción fotoquímica en el aire, se designan como contaminantes secundarios.

El H_2SO_4 es un ácido fuerte, corrosivo, que destruye el tejido viviente. La niebla de H_2SO_4 en el aire, consta de gotitas que miden de 1 a 4 micras de diámetro. Este margen particular de tamaño, favorece la penetración profunda del ácido en los pulmones, con los efectos perjudiciales consiguienes.

II. 3. 4. - OXIDOS DE NITROGENO.

Los óxidos de nitrógeno son los constituyentes potenciales del smog fotoquímico. Investigaciones han demostrado que la absorción de la luz solar efectuada por los NO_x , produce diversas reacciones dependiendo de la longitud de onda o de la frecuencia de la luz. Cerca de la longitud de onda del ultra

violeta se produce oxígeno atómico del NO_2 y éste oxígeno -- reacciona con los compuestos orgánicos, produciendo los efectos asociados con el smog fotoquímico.

Al considerar la toxicidad de estas sustancias, basta por regla general centrar nuestra atención en el NO_2 , porque todos los demás óxidos de nitrógeno, se convierten en NO , en el -- aire.

Los efectos del NO_2 en el hombre, van desde un olor desagradable y una irritación moderada, a una congestión pulmonar-grave y a la muerte; según la concentración del NO_2 y la duración de la exposición.

II. 4. - ELEMENTOS JURIDICOS PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA.

Debido al deterioro ambiental existente en la actualidad, no solo en México, sino también en otros países; se han creado Leyes y Reglamentos tendientes a controlar la contaminación-ambiental, de tal forma que se restablezca el equilibrio ecológico que tanto urge.

El Gobierno Federal se ha empezado a preocupar por el estado actual de la contaminación, actualizando las Leyes existentes para dicho propósito y dándole un total apoyo a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) para que las -Leyes y Reglamentos vigentes se hagan cumplir lo más eficientemente posible. Además, se están creando normas mexicanas, -aunadas a la ya existentes, que establezcan los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes al medio ambiente.

Entre las labores prioritarias que tiende a realizar la --- SEDUE, se destacan las siguientes:

- 1) Establecer los criterios y procedimientos de conservación, preservación, mejoramiento y reestauración del medio ambiente para el ordenamiento ecológico del Territorio Nacional y los criterios ecológicos para el uso y destino -

de los recursos naturales.

- 2) Prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y sus causas.
- 3) Fijar los niveles permisibles de las emisiones contaminantes en las fuentes fijas y móviles, así como la inmisión de los ecosistemas, tomando en cuenta la opinión de las dependencias competentes, de conformidad con el Reglamento respectivo.
- 4) Realizar y fomentar investigaciones y promover programas para el desarrollo de técnicas y procedimientos que permitan prevenir, controlar y abatir la contaminación del medio ambiente y de los recursos que lo integran.
- 5) Desarrollar programas tendientes a mejorar la "calidad del aire", las aguas, el medio marino, el suelo, el subsuelo y áreas peligrosas para la salud pública, la flora, la fauna y los ecosistemas.

Bajo la coordinación de la SEDUE, intervendrá la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) y la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA) así como dependencias del Ejecutivo Federal en el ámbito de sus respectivas competencias.

CAPITULO III

EVALUACION DEL EQUIPO ANTICONTAMINANTE

Para verificar el funcionamiento del equipo de control instalado en las tres diferentes plantas productoras de mezclas asfálticas, se optó por cuantificar diferentes parámetros que reportaran su funcionamiento. Los parámetros a medir fueron:

- Presión estática; para determinar la caída de presión ocasionada por el equipo de control.
- Presión dinámica; para determinar la velocidad de los gases en diferentes puntos del equipo de control.
- Temperatura de los gases; con el propósito de determinar el grado de enfriamiento y condiciones de operación, de los gases a través del equipo de control.
- Concentración de partículas a la salida de la chimenea; para evaluar la cantidad de partículas emitidas por la chimenea al medio ambiente y a su vez, determinar la eficiencia de colección de partículas del equipo de control.
- Concentración de bióxido de azufre (SO_2), trióxido de azufre (SO_3) y neblinas de ácido sulfúrico (H_2SO_4).

Nota: La emisión de partículas y óxidos de azufre sólo fué posible determinarse en la Planta 7. En la Planta 5 y 6, la evaluación se realizó teóricamente.

El propósito primordial del equipo anticontaminante instalado, es el de abatir la emisión de partículas; pero como se mencionó en el Capítulo II, no solo la emisión de partículas es el problema contaminante que se presenta en la Planta de Asfalto, sino también los gases de combustión (principalmente óxidos de azufre) -- desprendidos durante el secado del material triturado. Para tal propósito, se analizó periódicamente el porcentaje de azufre que contiene el diesel utilizado, encontrándose de 0.6 a 1.3% en peso y como se mencionará posteriormente, se evaluó la emisión de dióxido de azufre (SO_2) en cada Planta.

III. 1. - EQUIPO DE MEDICION.

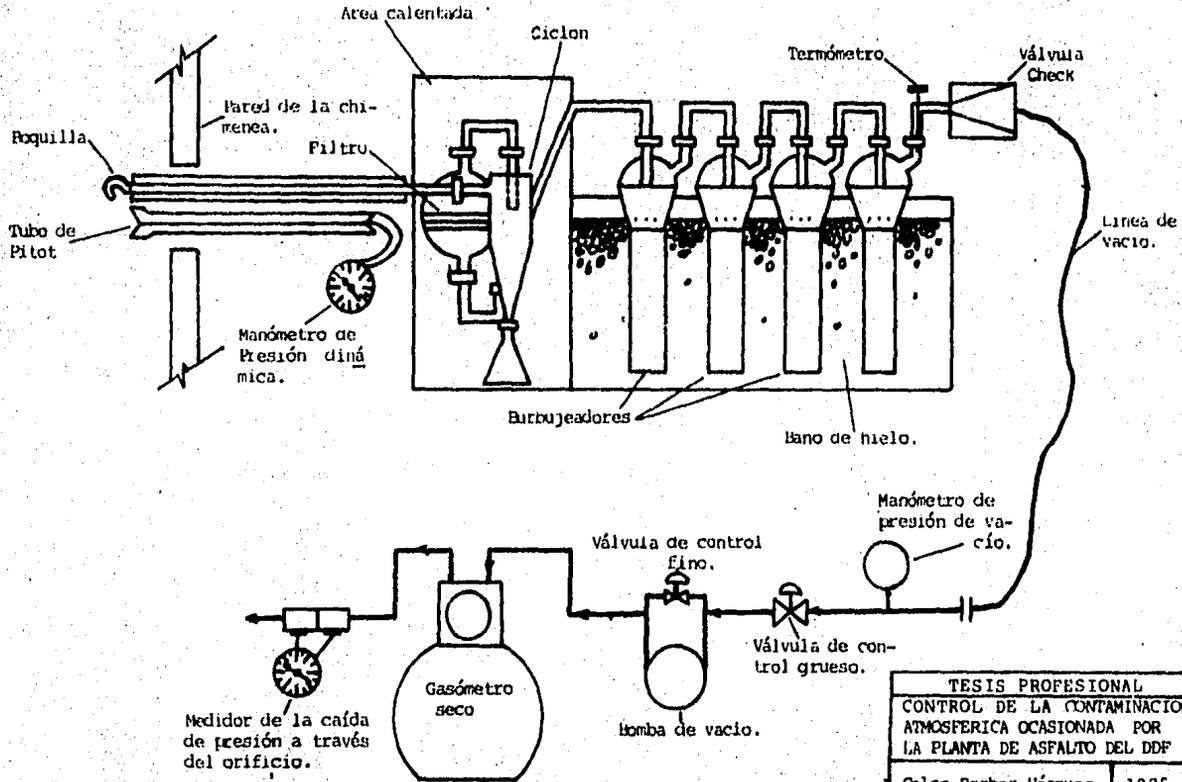
Para cuantificar las condiciones de operación en el equipo de control instalado en la Planta de Asfalto, se requirió de los siguientes equipos:

III. 1. 1. - MUESTREADOR ISOCINETICO (Figura 8).

El muestreador isocinético consiste de: un módulo de control, una unidad de muestreo, una sonda y un soporte monoriel.

1. - La unidad de control contiene todos los controles de operación necesarios; instrumentos para medición de presiones y temperaturas, bomba de vacío y un medidor seco de gases.
2. - La unidad de muestreo consiste de una cabina de acero --- inoxidable dividida en dos secciones. La primera sección es un compartimiento calentado, conteniendo dispositivos para la adaptación de un filtro y un ciclón (opcional). La segunda sección es un compartimiento conteniendo un tren de burbujeadores o un condensador opcional. Las aberturas de la cabina y dispositivos de conexión se disponen para ajustar la sonda a la unidad de muestreo. Todos los dispositivos de la unidad de muestreo son hechos de vidrio y -- son unidos por bolas y encajes esmerilados con dispositivos apropiados.
3. - La sonda consiste de un tubo de muestreo, un sensor de temperatura y un tubo de pitot. El tubo de muestreo es un tubo de acero inoxidable que corre a través del centro de -- otro tubo de acero inoxidable terminado en junta de bola. - El tubo interior es calentado por una resistencia eléctrica. Pueden utilizarse diferentes boquillas de muestreo. El tubo de pitot, como se mencionará posteriormente, consiste de un par de tubos concéntricos conectados en la sonda.
4. - El monoriel, es una guía en la cual se adapta la unidad de muestreo y en ésta última (al igual que en el monoriel), la sonda. El monoriel tiene la finalidad de muestrear mas rápida y prácticamente los gases en el ducto o chimenea.

FIGURA No. 8.- DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL MUESTREADOR ISOCINETICO.



TESIS PROFESIONAL
 CONTROL DE LA CONTAMINACION
 ATMOSFERICA OCASIONADA POR
 LA PLANTA DE ASFALTO DEL DDF
 Celso Berber Vázquez 1985

III.1.1.1.- PRINCIPIOS DE OPERACION.

Previamente a la operación, se seleccionan los puntos de prueba de acuerdo a lo establecido por la NOM-AA-09-1973 "Determinación del Flujo de Gases que fluyen por un Conducto por medio del Tubo de Pitot". La La figura A-1 del Apéndice, muestra la determinación del número de puntos de prueba en conductos. La figura A-2 del Apéndice, muestra la determinación de las posiciones de los puntos de prueba en conductos de sección circular.

La Tabla A-2 del Apéndice, muestra el porcentaje del diámetro -- del conducto desde la pared interior hasta el punto transversal.

En la operación, las temperaturas del horno y la sonda son ajustadas a valores adecuados para evitar principalmente, condensación del vapor de agua antes del tren de burbujeadores.

La sonda es insertada al puerto de muestreo; después, la bomba de vacío es encendida y se ajusta con los controles grueso y fino con la finalidad de ajustar a flujos isocinéticos. El gas - sucio succionado, entra a un ciclón de alta eficiencia (opcional), donde las partículas mayores son colectadas. Después del ciclón, la corriente de gas prelimpiado entra a través de un -- filtro al tren de burbujeadores (enfriados exteriormente con -- hielo en trozos), los primeros burbujeadores enfrían el gas y - remueven los materiales gaseosos y condensables, los cuales pueden ser solubles en agua o en otra solución seleccionada. Los -- otros dos burbujeadores remueven el agua residual presente en la corriente del gas (regularmente a base de sílica-gel).

El gas limpio y seco entra a la unidad de control y es cuantificado en un medidor seco de gases; registrándose además en la -- unidad de control, la presión de vacío, la caída de presión a - través del orificio, la presión dinámica de los gases, las temperaturas: del horno de la unidad de muestreo, de la sonda, de la chimenea, del primer burbujeador y de la entrada y salida -- del medidor seco de gases.

Para alcanzar el muestreo isocinético, se recomienda un tiempo-

mínimo de muestreo de 1 hora y un volumen muestreado en el medidor seco de gases, mínimo de 2 m³. El algoritmo de cálculo de la interpretación de los resultados del muestreo isocinético, se muestra en la Tabla A-3 del Apéndice.

III.1.2. - EL TUBO DE PITOT.

Las mediciones de flujo de aire y datos de prueba, son necesarios para determinar y comprobar el funcionamiento de los equipos de control y sus especificaciones de diseño; algunos ejemplos de medidores de flujo son: los de orificio y los venturi (estos medidores son usados ampliamente en el laboratorio, pero son imprácticos para mediciones industriales). Los medidores de velocidad mas comunmente usados en el campo y los mas usados en la prácticas de Ingeniería, son el tubo de pitot y el velocímetro de paleta balanceada.

El tubo de pitot estandar consiste de dos tubos concéntricos. El tubo interior mide la presión de impacto (presión total), la cual es la suma de la presión estática mas la presión dinámica; el tubo exterior mide solamente la presión estática. Cuando un manómetro inclinado o un manómetro en "U" u otro tipo similar de medidor de presión es conectado a un tubo de pitot, la presión estática es automáticamente nulificada, registrándose solamente la presión dinámica. Al utilizarse el manómetro en "U", la exactitud es baja para velocidades menores de 12.7 m/seg. -- Con un manómetro inclinado, velocidades tan bajas como 3 m/seg pueden determinarse satisfactoriamente.

Las velocidades en el ducto varían ampliamente, es mas baja cerca de la pared o esquina y es mas alta en el centro; debido a esta fluctuación, un mayor número de mediciones deben tomarse para determinar la velocidad promedio verdadera. En ductos redondos, no menos de 8 lecturas deberán tomarse a lo largo de los diámetros en centros de iguales áreas anulares. Lecturas adicionales serán necesarias cuando los ductos son mayores de 30 cm. de diámetro. En ductos rectangulares, las lecturas deben ser tomadas en el centro de áreas iguales sobre la sección trans

versal del ducto; las presiones dinámicas leídas son convertidas a velocidades mediante la expresión:

$$V_s = 3.72 C \sqrt{\frac{2 \text{ gc Pd}}{\rho_{sa}}}$$

ó mediante tablas de corrección proporcionadas por el fabricante en las cuales viene graficada la velocidad contra la presión dinámica, teniendo como constantes líneas isotérmicas. De esta forma, se mide directamente la velocidad de los gases a una temperatura determinada. Con un tubo de pitot portátil, se determinó la presión dinámica, presión estática y presión total, en diversos puntos del equipo de control, como se mencionará posteriormente.

III.1.3. - MANOMETRO EN "U" E INCLINADO.

Los manómetros en "U" e inclinado, fueron utilizados para medir presión estática y dinámica, respectivamente. El manómetro en -- "U", se utilizó cuando la presión estática era muy alta y no fué posible medirla con el manómetro inclinado.

III.1.4. - TERMOMETRO METALICO.

El termómetro metálico fué utilizado para medir la temperatura de los gases en diferentes puntos del equipo de control, verificando de esta forma, condiciones de operación del equipo de control.

III.2. - LA PLANTA 5.

La Planta 5 tiene como equipo de control:

- Un ciclón grande.
- Un sistema de colectores ciclónicos pequeños (16 conectados-- en paralelo).
- Un colector de polvos tipo bolsas.

La evaluación del equipo de control se realizó determinando flujos, temperaturas y presiones, antes y después del equipo de control en estudio; estableciendo los puntos de muestreo de acuerdo a lo mencionado por la Norma Oficial Mexicana: "Determinación -- del Flujo de Gases en un Conducto utilizando el Tubo de Pitot".

NOM-AA-09-1973.

Producción promedio de mezcla asfáltica: 190 ton/hr.
 Consumo de diesel por tonelada producida: 6 litros.
 Porcentaje de azufre en el diesel: 0.76 a 0.8 %

Las Tablas 2 y 3, muestran los resultados obtenidos a la entrada al ciclón grande (Figura 9) y a la salida de los colectores-ciclónicos (Figura 10), respectivamente.

III. 2. 1. - DETERMINACION TEORICA DE LA EFICIENCIA DE COLECCION-DE PARTICULAS DEL CICLON GRANDE.

De acuerdo a los datos teóricos, si el 55% de los polvos que - pasan la malla del No. 200 en la alimentación al secador rotatorio, se desprenden (con una producción promedio de 190 ton/hr de mezcla asfáltica y conteniendo dicha mezcla 7.6% de polvos- que pasan la malla del No. 200 (76μ de diámetro)), 7 942 Kg/ hr de partículas.

La granulometría promedio de los polvos es la siguiente:

Malla No. 200 (76μ)	45%
Malla No. 400 (38μ)	20%
20 μ	13%
10 μ	8%
5 μ	6%
2 μ	4%
1 μ	4%

Las dimensiones del ciclón grande se muestran en la figura 11. El diámetro de partículas que son colectadas con un 50% de eficiencia en el ciclón grande se calcula mediante la siguiente - expresión:

$$D_{p50} = \sqrt{\frac{9 \eta b}{2 \pi N_e V_i (\rho_p - \rho_g)}}$$

$\eta = 2.65 \times 10^{-5} \text{ Kg/(m. seg).}$

$b = 0.9 \text{ m.}$

$N_e = 8 \text{ (supuesto)}$

$V_i = 9.142 \text{ m/seg.}$

$\rho_p = 1150 \text{ Kg/m}^3$

$\rho_g = 0.643 \text{ Kg/m}^3$

$$D_{p50} = \sqrt{\frac{(9)(2.65 \times 10^{-5})(0.9)}{(2)(\pi)(8)(9.142)(1150 - 0.643)}}$$

$= 2.02 \times 10^{-5} \text{ m.} = 20.2$

TABLA No. 2. - RESULTADOS OBTENIDOS A LA ENTRADA AL CICLON GRANDE

NOMBRE DE LA EMPRESA PLANTA DE ASFALTO DEL D.D.F.

PRODUCCION ACTUAL 190 TON/HR

PRUEBA EN: PLANTA 5

SELECCION DEL No. DE PUNTOS DE PRUEBA

LONGITUD DEL DUCTO = L = 1.4 m ANCHO DEL DUCTO = B = 0.9 m

DIAMETRO EQUIVALENTE = D eq. = (2 B L / (L + B)) = 1.09 m

No. DE DIAMETROS DEL CONDUCTO EN CONTRA DEL SENTIDO DEL

FLUJO = A-1 = 0.75

No. DE DIAMETROS EN EL SENTIDO DEL FLUJO = B-1 = 3

DE LA FIGURA A-1 DEL APENDICE ; No. DE PUNTOS DE PRUEBA: 40

LUGAR DEL MUESTREO: ENTRADA AL CICLON GRANDE

PRESION BAROMETRICA DEL LUGAR: 586 mm de Hg. P. est. = -0.75 mm de Hg

Punto #	x	Pd	√Pd	Punto #	x	Pd	√Pd
CORRIDA No. 1; LADO 1:				CORRIDA No. 1; LADO 2:			
1	43.22	0.17	0.41	1	43.22	NO SE PUDO DE-	
2	33.06	0.15	0.39	2	33.06	TERMINAR POR	
3	22.90	0.21	0.45	3	22.90	PRESENCIA DE	
4	12.74	0.28	0.53	4	12.74	POLVO SEDIMENTA-	
5	2.58	0.22	0.47	5	2.58	DO	
CORRIDA No. 2:				CORRIDA No. 2:			
1	43.22	0.47	0.68	1	43.22	0.13	0.36
2	33.06	0.43	0.66	2	33.06	0.15	0.39
3	22.90	0.37	0.61	3	22.90	0.11	0.33
4	12.74	0.37	0.61	4	12.74	0.17	0.41
5	2.58	0.35	0.60	5	2.58	0.11	0.33
CORRIDA No. 3:				CORRIDA No. 3:			
1	43.22	0.47	0.68	1	43.22	0.26	0.51
2	33.06	0.43	0.66	2	33.06	0.30	0.55
3	22.90	0.37	0.61	3	22.90	0.35	0.60
4	12.74	0.35	0.60	4	12.74	0.45	0.67
5	2.58	0.37	0.61	5	2.58	0.47	0.68
CORRIDA No. 4:				CORRIDA No. 4:			
1	43.22	0.09	0.31	1	43.22	0.37	0.61
2	33.06	0.08	0.27	2	33.06	0.47	0.68
3	22.90	0.08	0.27	3	22.90	0.49	0.70
4	12.74	0.08	0.27	4	12.74	0.56	0.75
5	2.58	0.09	0.31	5	2.58	0.60	0.77
$\Sigma \sqrt{Pd} = 10.00$				$\Sigma \sqrt{Pd} = 8.34$			

T_{Si} = 418 K

T_{Sf} = 428 K

CALCULOS:

T_s = (T_{Si} + T_{Sf})/2 = 423 K

P_d = (Σ√Pd/N)² = 0.274 mm de Hg.

P_{sd} = 0.464 (P_s/T_s) = 0.6419 Kg/m³

V_s = 3.72 C √(2 q_c P_d) / P_{sd} = 9.15 m/seg.

Q_{sd} = 3600 V_s A_s = 41 466 m³/hr

Q_{sw} = 0.392 (P_s/T_s) Q_{sd} = 22 500 Nm³/hr.

TABLA 3. - RESULTADOS OBTENIDOS A LA ENTRADA AL COLECTOR DE BOLSAS

NOMBRE DE LA EMPRESA PLANTA DE ASFALTO DEL D.D.F.

PRODUCCION ACTUAL 190 TON/HR.

PRUEBA EN: PLANTA 5

SELECCION DEL N.º DE PUNTOS DE PRUEBA

LONGITUD DEL DUCTO = $L = 2.1497$ m ANCHO DEL DUCTO = $B = 0.533$ m

DIAMETRO EQUIVALENTE = $D_{eq} = (2 B L / (L + B)) = 0.854$ m

N.º DE DIAMETROS DEL CONDUCTO EN CONTRA DEL SENTIDO DEL

FLUJO = $A-1 = 0.75$

N.º DE DIAMETROS EN EL SENTIDO DEL FLUJO = $B-1 = 3$

DE LA FIGURA A-1 DEL APENDICE ; N.º DE PUNTOS DE PRUEBA: 40

LUGAR DEL MUESTREO: ENTRADA AL COLECTOR DE BOLSAS

PRESION BAROMETRICA DEL LUGAR: 586 mm de Hg. P. est. = -3.114 mm de Hg

Punto #	x	Pd	\sqrt{Pd}	Punto #	x	Pd	\sqrt{Pd}
CORRIDA No. 1: LADO 1:				CORRIDA No. 1: LADO 2:			
1	43.22	0.46	0.68	1	43.22	0.60	0.77
2	33.06	0.48	0.70	2	33.06	0.54	0.74
3	22.90	0.45	0.67	3	22.90	-----	-----
4	12.74	0.43	0.65	4	12.74	-----	-----
5	2.58	0.43	0.65	5	2.58	-----	-----
CORRIDA No. 2				CORRIDA No. 2			
1	43.22	0.71	0.84	1	43.22	0.69	0.83
2	33.06	0.60	0.77	2	33.06	0.60	0.77
3	22.90	0.56	0.75	3	22.90	0.65	0.81
4	12.74	0.63	0.80	4	12.74	0.69	0.83
5	2.58	0.54	0.74	5	2.58	0.63	0.80
CORRIDA No. 3:				CORRIDA No. 3			
1	43.22	0.90	0.95	1	43.22	0.84	0.92
2	33.06	0.82	0.91	2	33.06	0.86	0.93
3	22.90	0.82	0.91	3	22.90	0.80	0.90
4	12.74	0.80	0.90	4	12.74	0.84	0.92
5	2.58	0.75	0.86	5	2.58	0.93	0.97
CORRIDA No. 4:				CORRIDA No. 4:			
1	43.22	0.56	0.75	1	43.22	0.37	0.61
2	33.06	0.63	0.80	2	33.06	0.47	0.68
3	22.90	0.67	0.82	3	22.90	0.48	0.70
4	12.74	0.75	0.86	4	12.74	0.56	0.75
5	2.58	0.75	0.86	5	12.58	0.32	0.56
$\Sigma \sqrt{Pd} = 15.87$				$\Sigma \sqrt{Pd} = 13.49$			

$T_{s1} = 365$ K

$T_{sf} = 369$ K

CALCULOS:

$T_s = (T_{s1} + T_{sf}) / 2 = 367$ K

$P_d = (\Sigma \sqrt{Pd} / N)^2 = 0.54$ mm de Hg.

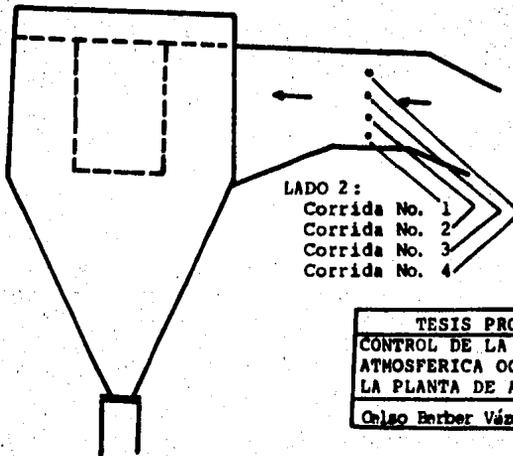
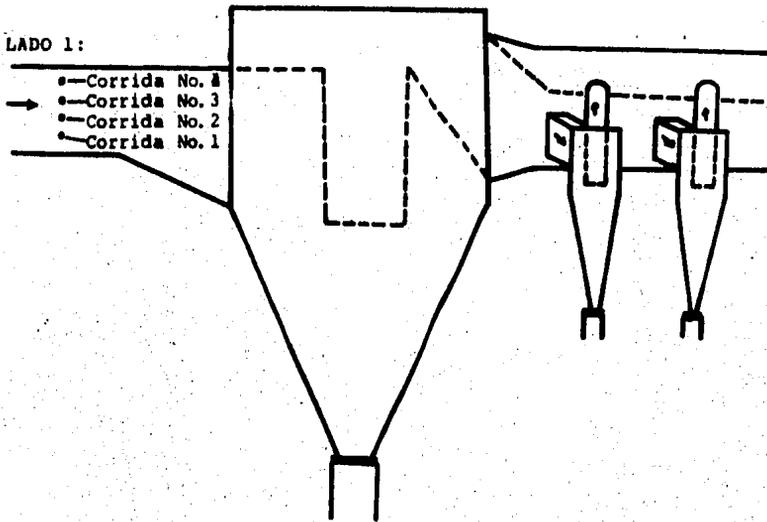
$P_{sa} = 0.464 (P_s / T_s) = 0.737$ Kg/m²

$V_s = 3.72 C \sqrt{(2 g_c P_d)} / P_{sa} = 11.98$ m/seg.

$Q_{sa} = 3600 V_s A_s = 49 416$ Nm³/hr

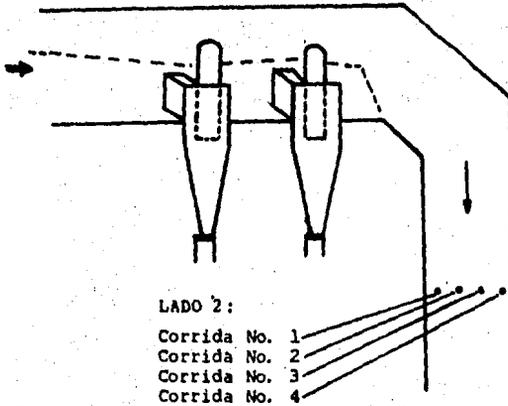
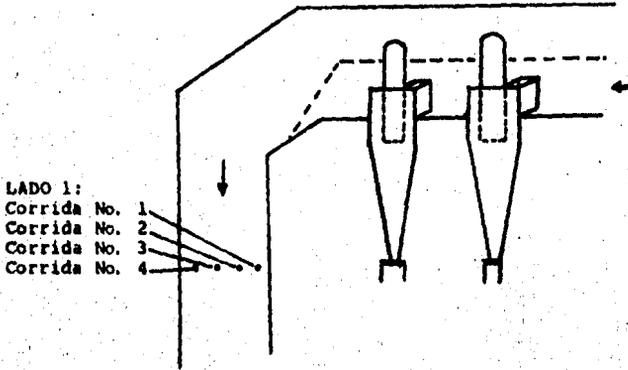
$Q_{sw} = 0.392 (P_s / T_s) Q_{sa} = 30 803$ Nm³/hr.

FIGURA '9.- PUNTOS DE MUESTREO A LA ENTRADA AL CICLON GRANDE DE LA PLANTA 5.



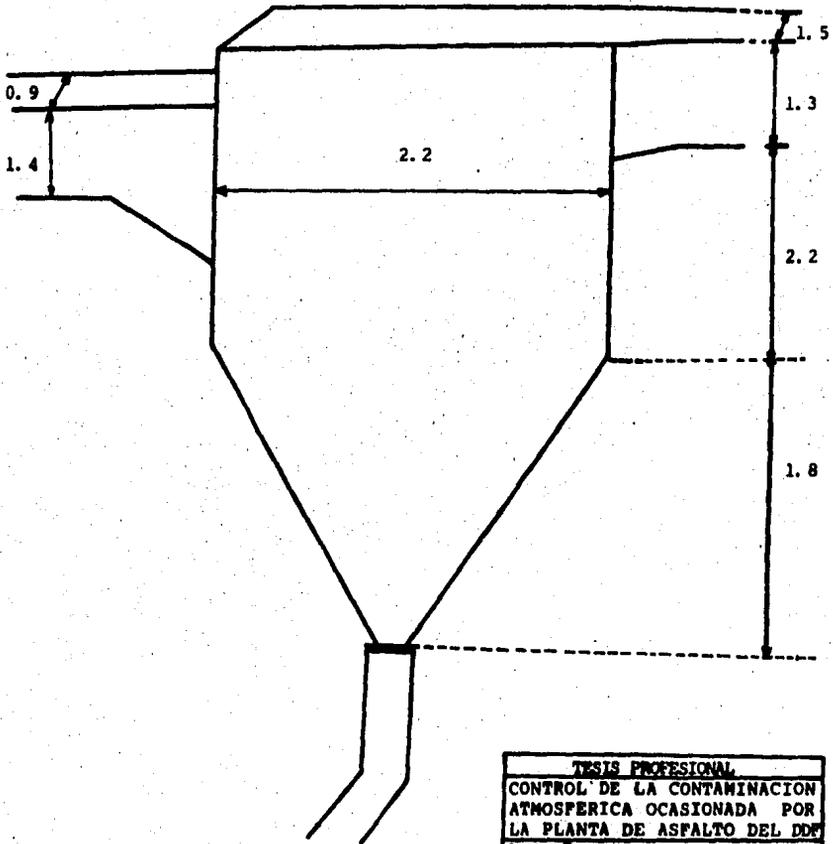
TESIS PROFESIONAL	
CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA OCASIONADA POR LA PLANTA DE ASPALTO DEL DOP	
Oslo Barber Vázquez	1985

FIGURA No. 10 .- PUNTOS DE MUESTREO A LA SALIDA DE LOS COLECTORES CICLONICOS.



TESIS PROFESIONAL
CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA OCASIONADA POR LA PLANTA DE ASFALTO DEL D.D.F.
Celso Barber Vázquez
1985

FIGURA No. 11. - PRINCIPALES MEDIDAS DEL CICLON GRANDE DE LA PLANTA 5.



TESIS PROFESIONAL	
CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA OCASIONADA POR LA PLANTA DE ASFALTO DEL DDF	
Apt: En metros	
Osorio Barber Vázquez	1985

La Figura A-3 del Apéndice, muestra la eficiencia de colección parcial de ciclones, en función del parámetro D_p/D_{p50} . La Tabla 4 muestra la determinación de la eficiencia global del ciclón grande.

TABLA 4. - Eficiencia de colección de partículas en el ciclón grande.

(1) Tamaño de partículas en μ .	(2) D_p/D_{p50}	(3) Eficiencia parcial, en %	(4) % en la muestra a la entrada al ciclón.	(5) = $\frac{(3) \times (4)}{100}$ Eficiencia de colección, en %	(6) = (4) - (5) % que pasa.
76	3.76	96	45	43.2	1.8
38	1.88	75	20	15.0	5.0
20	0.99	50	13	6.5	6.5
10	0.50	22	8	1.76	6.24
5	0.25	6	6	0.06	5.94
2	0.10	1	4	0.04	3.96
1	0.05	-	4	----	4.00
				66.56%	

La eficiencia global del ciclón grande es de 66.56%.

Se colectan de partículas en el ciclón grande: 5286.2 Kg/hr.

Entra a los colectores ciclónicos pequeños: 2655.8 Kg/hr de partículas.

III.2.2. - DETERMINACION TEORICA DE LA EFICIENCIA DE COLECCION DE PARTICULAS DE LOS COLECTORES CICLONICOS PEQUEÑOS.

Las dimensiones de los colectores ciclónicos pequeños se muestran en la figura 12. Como los colectores ciclónicos pequeños se encuentran conectados en paralelo, se supone que el flujo de aire es el mismo a la entrada a cada ciclón, se asume además, que los gases no sufren enfriamiento apreciable.

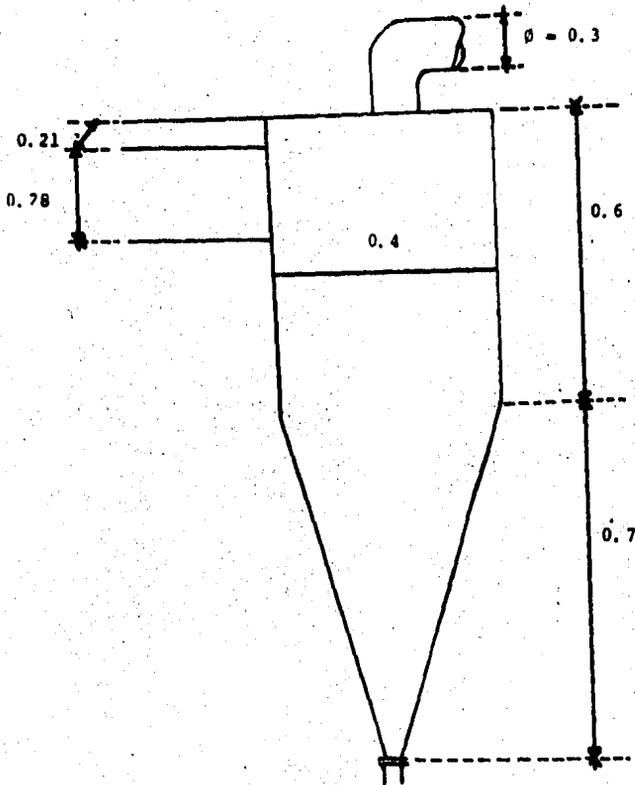
Entra a cada ciclón: 2 591.63 m³/hr.

Velocidad de los gases a la entrada de cada ciclón: 9.18 m/seg.

El D_{p50} de los colectores ciclónicos pequeños es de: 11.2 .

La eficiencia parcial de colección de los ciclones pequeños -- para cada tamaño de partículas, se determina de la figura A-3 del Apéndice. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5.

FIGURA 12.- DIMENSIONES PRINCIPALES DE LOS COLECTORES CICLONICOS PEQUEÑOS.



Nota: Las acotaciones están dadas en metros.

TESIS PROFESIONAL	
CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA OCASIONADA POR LA PLANTA DE ASFALTO DEL DDF	
Celso Berber Vázquez	1985

TABLA 5. - Determinación de la eficiencia de colección de partículas de los colectores ciclónicos pequeños.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = $\frac{(3) \times (4)}{100}$	(6) = (4) - (5)
Tamaño de partículas, en μ	D_p/D_{p50}	Eficiencia parcial, en %	% en la muestra	Eficiencia de colección global, en %	% que pasa
76	6.79	100	5.38	5.38	0.00
38	3.39	92	14.95	13.75	1.20
20	1.79	71	19.45	13.81	5.64
10	0.79	40	18.66	7.46	11.20
5	0.45	18.5	17.76	3.27	14.49
2	0.18	2.8	11.84	0.33	11.51
1	0.09	1.0	11.96	<u>0.12</u>	11.84
				<u>44.12%</u>	

Eficiencia de colección de los colectores ciclónicos pequeños: 44.12%

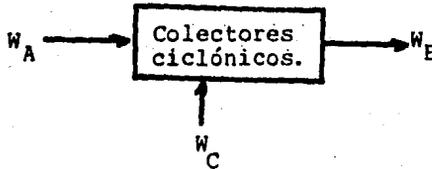
Se colectan de partículas: 1 171.74 Kg/hr.

Entra al colector de bolsas: 1 484.06 Kg/hr de partículas.

Flujo volumétrico a la salida de los colectores ciclónicos pequeños: 30 803 Nm³/hr.

Temperatura del gas a la entrada al colector de bolsas: 56 °C.

El siguiente balance de Masa y Energía justifica el incremento de flujo:



Balance de Masa:

$$W_A + W_C = W_B$$

Balance de Energía:

$$W_A \Delta H_A + W_C \Delta H_C = W_B \Delta H_B$$

Corriente A: $T_A = 150 \text{ }^\circ\text{C} = 423 \text{ K}$
 $W_A = 22\ 500 \times 1.185 = 26\ 662.5 \text{ Kg/hr.}$
 $Y_A = 0.018 \text{ Kg. de vapor/Kg. de Aire Seco.}$
Para el sistema Aire-Agua:

$$C_A = 0.24 + 0.46 Y_A$$
$$= 0.2483 \text{ Kcal/Kg }^\circ\text{C.}$$

$$\Delta H_A = C_A T_A + \lambda_o Y_A$$
$$= 47.99 \text{ Kcal/Kg.}$$

Corriente B: $T_B = 94 \text{ }^\circ\text{C} = 367 \text{ K}$
 $W_B = 36\ 501.55 \text{ Kg/hr.}$
 $Y_B = 0.0796 \text{ Kg. de vapor/Kg de A.S.}$
 $C_B = 0.2767 \text{ Kcal/Kg }^\circ\text{C}$
 $\Delta H_B = 73.59 \text{ Kcal/Kg.}$

Corriente C: $T_C = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$
 $W_C = ?$
 $Y_C = 0.225 \text{ Kg. de vapor/Kg de A.S.}$
 $C_C = 0.3435 \text{ Kcal/Kg }^\circ\text{C.}$
 $\Delta H_C = 142.95 \text{ Kcal/Kg.}$

Temperatura de referencia = $0 \text{ }^\circ\text{C.}$

$\lambda_o = \text{Calor latente de vaporización} = 597.2 \text{ Kcal/Kg. de vapor.}$

Balance de Masa : $W_C = 36\ 501.55 - 26\ 662.5 = 9\ 839 \text{ Kg/hr.}$

Balance de Energía:

$$W_C = \frac{\Delta H_B W_B - \Delta H_A W_A}{\Delta H_C}$$
$$= \frac{73.59 \times 36\ 501.55 - 47.99 \times 26\ 662.5}{142.95}$$
$$= 9\ 939 \text{ Kg/hr.}$$

III. 2. 3. - DETERMINACION TEORICA DE LA EFICIENCIA DE COLECCION DE PARTICULAS EN EL COLECTOR DE BOLSAS.

Las Tablas 3 y 6, muestran los resultados obtenidos a la entrada (figuras 10 y 13) y a la salida (figura 13) del colector de bolsas, respectivamente.

TABLA 6. - RESULTADOS OBTENIDOS A LA SALIDA DEL COLECTOR DE BOLSAS.

NOMBRE DE LA EMPRESA PLANTA DE ASFALTO DEL D.D.F.

PRODUCCION ACTUAL 190 TON/HR. PRUEBA EN: PLANTA 5

SELECCION DEL No. DE PUNTOS DE PRUEBA

LONGITUD DEL DUCTO= L = _____ m ANCHO DEL DUCTO= B = _____ m

DIAMETRO EQUIVALENTE = D eq. = (2 B L / (L + B)) = 1.186 m

No. DE DIAMETROS DEL CONDUCTO EN CONTRA DEL SENTIDO DEL

FLUJO = A-1 = 1 75

No. DE DIAMETROS EN EL SENTIDO DEL FLUJO = B-1 = 7

DE LA FIGURA A-1 DEL APENDICE ; No. DE PUNTOS DE PRUEBA: 16

LUGAR DEL MUESTREO: SALIDA DEL COLECTOR DE BOLSAS

PRESION BAROMETRICA DEL LUGAR: 586 mm de Hg. P. est. = -26.72 mm de Hg

Punto #	x	Rd	√Pd	Punto #	x	Rd	√Pd
CORRIDA No. 1:							
1	38.3	0.56	0.75				
2	30.3	0.37	0.61				
3	23.3	0.37	0.61				
4	17.3	0.30	0.55				
5	12.3	0.22	0.47				
6	8.3	0.19	0.44				
7	4.3	0.28	0.53				
8	2.3	0.19	0.43				
CORRIDA No. 2:							
1	38.3	1.32	1.15				
2	30.3	1.32	1.15				
3	23.3	1.44	1.20				
4	17.3	1.56	1.25				
5	12.3	1.82	1.35				
6	8.3	1.82	1.35				
7	4.3	1.96	1.40				
8	2.3	3.31	1.82				
			Σ √Pd = 13.95				Σ √Pd =

T_{ti} = 363 K ; T_{tf} = 363 K

CALCULOS:

$$T_s = (T_{ti} + T_{tf})/2 = \underline{363} \text{ K}$$

$$R_d = (\Sigma \sqrt{P_d}/N)^2 = \underline{0.60} \text{ mm de Hg.}$$

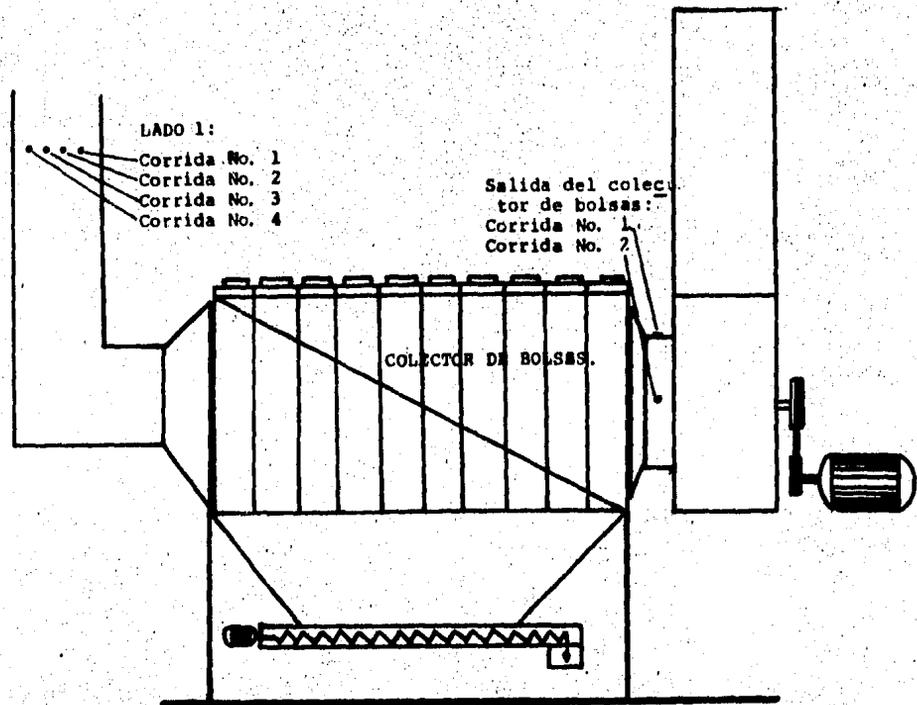
$$P_{sa} = 0.464 (P_a/T_s) = \underline{0.7149} \text{ kg/cm}^2.$$

$$V_s = 3.72 C \sqrt{(2 g_c R_d) / P_{sa}} = \underline{12.82} \text{ m/sec.}$$

$$Q_{sa} = 3600 V_s A_s = \underline{50 975} \text{ m}^3/\text{hr.}$$

$$Q_{sw} = 0.392 (P_a/T_s) Q_{sa} = \underline{30 838} \text{ Nm}^3/\text{hr.}$$

FIGURA No. 13. - PUNTOS DE MUESTREO A LA ENTRADA Y A LA SALIDA DEL COLECTOR DE BOLSAS.



TESIS PROFESIONAL
CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA OCACIONADA POR LA PLANTA DE ASFALTO DEL DDF
Celso Barber Vázquez 1985

Para polvo de arena, se recomienda que el material filtrante (No-mex), tenga una relación de filtración de 239.76 m/hr (13.11 fpm) requiriendo de;

$$Q_{sa}/R.f. = 49\ 416/329.76 = 206.1\ m^2\ de\ tela\ fil\text{---}trante.$$

El colector existente en la Planta 5, contiene 11 módulos con 25-bolsas por módulo, teniendo cada bolsa un diámetro de 0.127 m (5-pulgadas) y una longitud de 2.1336 m (7 pies). El area de filtrado de cada bolsa es de:

$$A_b = \pi \phi b \times l_b = \pi (0.127)(2.1336) = 0.85127\ m^2.$$

El area total de filtrado es de:

$$11 \times 25 \times 0.8127 = 234\ m^2.$$

Las condiciones de operación del ventilador son las siguientes:

Velocidad angular = 1' 035 rpm.

Temperatura de los gases = 90 °C.

Altura sobre el nivel del mar = 2 240 m.

Factor densidad= 0.62

Potencia efectiva del ventilador= 300 H.P. = 223.88Kw.

De acuerdo a curvas de ventiladores y por similitud geométrica con el extractor de la Planta 5 (cuyas características se muestran en la figura 14), la potencia efectiva según el diagrama es de 361 Kw; teniendo una capacidad de diseño de 170 000 m³/hr y -ejerciendo una presión total de 600 mm de c. a. El extractor de la Planta 5 está diseñado para manejar un 233% mas del flujo actual, maneja una cantidad menor debido a que se encuentra estrangulado.

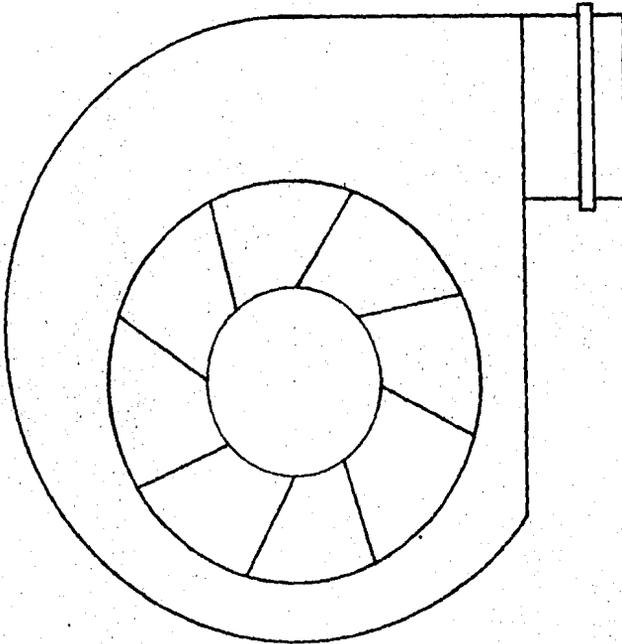
Considerando una eficiencia de colección de partículas promedio del colector de bolsas del 96%, teóricamente , la Planta 5 emite a la atmósfera 44.52 Kg/hr.

III.2.4. - DETERMINACION TEORICA DE LA EMISION DE SO₂.

Para cuantificar la emisión de SO₂, se analizó el diesel periódicamente, encontrándose un porcentaje promedio de azufre del -- 0.78%.

La densidad relativa del diesel es de 0.815

FIGURA 14.- CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL EXTRACTOR DE LA PLANTA 5.



Diámetro de la flecha: 0.1143 m.
Tipo de aletas: Rectas hacia atras.

Motores: 2 de 150 HP; 220/440 volts
50/60 Hz.; 1470/1760 rpm.
395/197.5/370/18.5 Amp.
4 polos.

Diámetro de la polea del motor: 0.3175 m.
Diámetro de la polea del extractor:
0.5397 m.

TESIS PROFESIONAL	
CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA OCASIONADA POR LA PLANTA DE ASPALTO DEL D.D.F.	
Fuente: Planta de Asfalto	
Escala: 1:20	
Oslo Barber Vázquez	1985

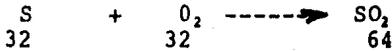
El consumo de diesel por tonelada producida de mezcla asfáltica es de 6 litros.

Producción promedio de mezcla asfáltica: 190 ton/hr.

Cantidad de azufre quemado por hora:

$$190 \times 6 \times 0.815 \times 0.0078 = 7.2469 \text{ Kg.}$$

Formación de SO_2 :



$$7.2469 \times (64/32) = 14.4938 \text{ Kg/hr.}$$

Concentración de SO_2 a la salida de la chimenea:

$$\begin{aligned} 14.4938/30828 &= 4.7 \times 10^{-4} \text{ Kg/m}^3. \\ &= 470 \text{ mg/m}^3. \end{aligned}$$

Concentración de SO_2 a la salida de la chimenea en ppm:

$$\text{ppm} = \frac{C(\text{mg/Nm}^3) \times 24.5}{M_{\text{SO}_2}}$$

$$470 \times 24.5/64 = 180 \text{ ppm.}$$

Nota: No fué posible realizar un muestreo isocinético en la chimenea, debido a que operaba ineficientemente el colector de bolsas.

III.3. - LA PLANTA 6.

La Planta 6 tiene como equipo de control un colector de polvos tipo húmedo (lavador húmedo tipo venturi), en el cual se controla la contaminación por captación de los polvos y parte de los gases de combustión, en el agua utilizada. Se realizaron mediciones a la entrada y a la salida del colector húmedo, determinándose acidez, concentración de partículas y concentración de SO_2 (se supone que la acidez presente es debida a la absorción de SO_2 y neblinas de ácido sulfúrico, formado en el proceso de combustión). Las Tablas 7 y 8, muestran los resultados obtenidos a la entrada y a la salida del colector húmedo (figura 15).

La tabla 9, muestra el análisis del agua utilizada en el lavador húmedo.

TABLA 7. - RESULTADOS OBTENIDOS A LA ENTRADA AL COLECTOR HUMEDO

NOMBRE DE LA EMPRESA PLANTA DE ASFALTO DEL D.D.F.
 PRODUCCION ACTUAL 290 TON/HR PRUEBA EN: PLANTA 6
 SELECCION DEL N.º DE PUNTOS DE PRUEBA
 LONGITUD DEL DUCTO= L = _____ m. ANCHO DEL DUCTO= B = _____ m
 DIAMETRO EQUIVALENTE = D eq. = (2 B L / (L + B)) = _____ m
 No. DE DIAMETROS DEL CONDUCTO EN CONTRA DEL SENTIDO DEL
 FLUJO = A-1 = _____
 No. DE DIAMETROS EN EL SENTIDO DEL FLUJO = B-1 = _____
 DE LA FIGURA A-1 DEL APENDICE ; No. DE PUNTOS DE PRUEBA: 20
 LUGAR DEL MUESTREO: ENTRADA AL COLECTOR HUMEDO
 PRESION BAROMETRICA DEL LUGAR: 586 mm de Hg. P. est. = -1.23 mm de Hg

Punto #	X	Pd	√Pd	Punto #	X	Pd	√Pd
CORRIDA No. 1:							
1	43.72	0.43	0.65				
2	33.56	0.43	0.65				
3	23.40	0.45	0.67				
4	13.24	0.47	0.68				
5	3.08	0.47	0.68				
CORRIDA No. 2							
1	43.72	0.47	0.68				
2	33.56	0.52	0.72				
3	23.40	0.54	0.73				
4	13.24	0.52	0.72				
5	3.08	0.41	0.64				
CORRIDA No. 3:							
1	43.72	0.47	0.68				
2	33.56	0.47	0.68				
3	23.40	0.43	0.65				
4	13.24	0.43	0.65				
5	3.08	0.37	0.61				
CORRIDA No. 4:							
1	43.72	0.39	0.62				
2	33.56	0.39	0.62				
3	23.40	0.41	0.64				
4	13.24	0.41	0.64				
5	3.08	0.35	0.59				
$\Sigma \sqrt{Pd} = 13.25$							

Tsi = 412 K ; Tsf = 408 K

CALCULOS:

$T_b = (T_{si} + T_{sf})/2 = 410$ K
 $P_d = (\Sigma \sqrt{Pd}/N)^2 = 0.439$ mm de Hg.
 $P_{sa} = 0.464 (P_b/T_b) = 0.6618$ Kg/m³
 $V_{sa} = 3.72 \sqrt{((2 \text{ gc } P_d)/P_{sa})} = 11.39$ m/seg.
 $Q_{sa} = 3600 V_{sa} A_p = 44 751.76$ m³/hr
 $Q_{sw} = 0.392 (P_b/T_b) Q_{sa} = 25 046.13$ Nm³/hr.

TABLA No. 8. - RESULTADOS OBTENIDOS A LA SALIDA DEL COLECTOR HUMEDO

NOMBRE DE LA EMPRESA PLANTA DE ASFALTO DEL D.D.F.

PRODUCCION ACTUAL 290 TON/HR.

PRUEBA EN: PLANTA 6.

SELECCION DEL No. DE PUNTOS DE PRUEBA

LONGITUD DEL DUCTO= L = _____ m ANCHO DEL DUCTO= B = _____ m

DIAMETRO EQUIVALENTE = R eq. = (2 B L / (L + B)) = 0.97 m

No. DE DIAMETROS DEL CONDUCTO EN CONTRA DEL SENTIDO DEL

FLUJO = A-1 = _____

No. DE DIAMETROS EN EL SENTIDO DEL FLUJO = B-1 = _____

DE LA FIGURA A-1 DEL APENDICE ; No. DE PUNTOS DE PRUEBA: 10

LUGAR DEL MUESTREO: SALIDA DEL COLECTOR HUMEDO

PRESION BAROMETRICA DEL LUGAR: 586 mm de Hg. P. est. = -20.52 mm de Hg

Punto #	x	Pd	√Pd	Punto #	x	Pd	√Pd
CORRIDA No. 1:							
1	42.72	1.49	1.22				
2	33.56	1.10	1.05				
3	22.40	0.91	0.95				
4	12.24	1.16	1.08				
5	2.08	1.17	1.08				
CORRIDA No. 2:							
1	42.72	1.49	1.22				
2	33.56	1.30	1.14				
3	22.40	1.27	1.12				
4	12.24	1.12	1.06				
5	2.08	1.10	1.05				
			$\sum \sqrt{Pd} = 10.97$				
				$\sum Pd =$			

Ts1 = 328 K

Ts2 = 328 K

CALCULOS:

$Ts = (Ts1 + Ts2) / 2 =$ 328 K

$Pd = (\sum \sqrt{Pd} / N)^2 =$ 1.21 mm de Hg.

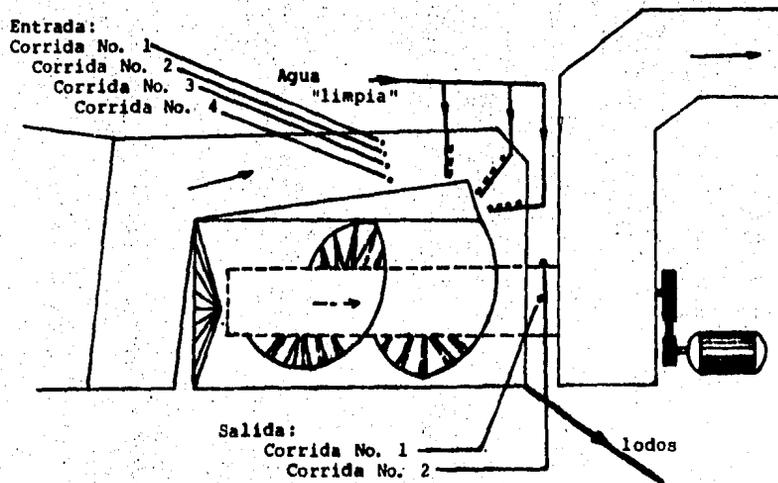
$\rho_{sa} = 0.464 (Ps / Ts) =$ 0.8000 Kg/m³

$Vs = 3.72 \cdot C \cdot \sqrt{(2 \cdot g \cdot Pd) / \rho_{sa}} =$ 17.19 m/seg.

$Q_{sa} = 3600 Vs As =$ 45 732 Nm³ /hr

$Q_{SN} = 0.392 (Ps / Ts) Q_{sa} =$ 30 981 Nm³ /hr.

FIGURA No. 15...- PUNTOS DE MUESTREO A LA ENTRADA Y A LA SALIDA DEL COLECTOR HUMEDO TIPO VENTURI DE LA PLANTA 6.



-45-

TESIS PROFESIONAL	
CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA OCASIONADA POR LA PLANTA DE ASFALTO DEL DDF	
Celso Barber Vázquez	1985

TABLA 9.- Análisis del agua utilizada en el lavador húmedo tipo venturi.

	Entrada	Salida	Incremento
Temperatura (°C)	23	55	22
pH	5	6	1
Concentración de partículas, en g/lt.	2.4	8.66	6.26
Concentración de SO ₂ , en g/lt (*)	0.1024	0.128	0.0256

(*) Se asumió que el incremento de acidez es debido al SO₂ disuelto, proveniente de los gases de combustión.

III.3.1. - FLUJO DE AGUA UTILIZADA

Para determinar el flujo de agua utilizada en el colector húmedo, se cuantificó en la pileta de lodos, conociendo las dimensiones de la pileta y la altura a la cual llegaron los lodos en un tiempo de medición de 10 minutos, los resultados obtenidos se mencionan a continuación:

Area de la pileta de lodos: 20.65 m².

Longitud de aumento de agua que llega a la pileta de lodos durante un tiempo de medición de 10 min. = 0.825 m.

Flujo de lodos que llega a la pileta:

$$20.65 \times 0.825/10 = 1.7 \text{ m}^3/\text{min.}$$

La bomba utilizada para suministrar el agua al lavador húmedo es accionada por un motor de 60 H.P.; manejando un flujo de 1.7 m³/min, más la cantidad de agua evaporada en el lavador húmedo, (0.1172 m³/min).

Se retienen de partículas:

$$6.26 \times 1.7 \times 60 \times 1000 = 638.52 \text{ Kg/hr.}$$

Se retiene de SO₂:

$$0.0256 \times 1.7 \times 60 \times 1000 = 2611.2 \text{ g/hr.}$$

$$= 2.6112 \text{ Kg/hr.}$$

III.3.2. - EFICIENCIA DE COLECCION DE PARTICULAS EN EL LAVADOR HUMEDO.

Teóricamente, en el secador rotatorio y en un proceso por lotes,

se desprende el 55% de los polvos que pasan la malla del No. 200. En un proceso continuo, de esos 55%, el 92.5% de los polvos es retenido al esprearle el asfalto al material triturado.

El material triturado se alimenta al secador rotatorio con 6% de polvos que pasan la malla No. 200, desprendiéndose de partículas:

$$290 \times 1000 \times 0.06 \times 0.55 \times 0.075 = 717.75 \text{ Kg/hr.}$$

Sí se colectan 638.52 Kg/hr de partículas, el colector húmedo trabaja con una eficiencia del 88.96%; emitiéndose teóricamente a la atmósfera 79.23 Kg/hr de partículas.

Condiciones de operación del ventilador:

Velocidad angular = 990 rpm

Temperatura de los gases = 55 °C

Altura sobre el nivel del mar = 2 240 m.

Factor densidad = 0.67

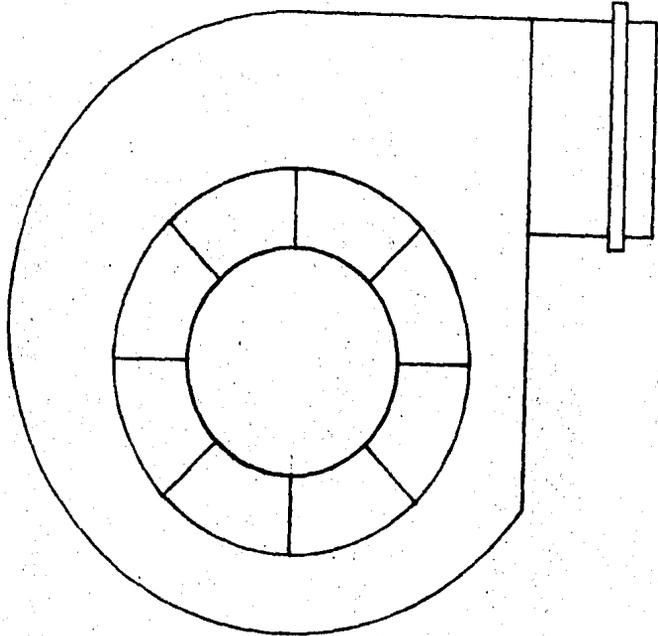
Potencia efectiva del ventilador = 200 H.P. = 149.25 Kw.

De acuerdo a curvas de ventiladores y por similitud geométrica con el extractor de la planta 6, cuyas características principales se muestran en la figura 16; la potencia efectiva según el diagrama es de $149.25/0.67 = 222.76$ Kw. ; teniendo una capacidad de diseño de 90 000 m³/hr y ejerciendo una presión total de 760 mm de c.a. (Pd = 70 mm de c.a. y P est. = 690 mm de c.a.); por lo tanto, el extractor de la Planta 6 está diseñado para manejar 96.7% más de flujo que el actual. Maneja una cantidad menor, debido a que se encuentra estrangulado.

III. 3. 3. - DETERMINACION TEORICA DE LA EMISION DE SO₂.

Con la producción promedio de mezcla asfáltica (290 ton/hr), el consumo de combustible (diesel) por tonelada producida, el porcentaje de azufre en el diesel, la captura de SO₂ en el agua -- utilizada y el flujo volumétrico a condiciones normales a la salida del colector húmedo; se evaluó la emisión de SO₂ a la salida de la chimenea. A continuación se muestran los resultados obtenidos:

FIGURA 16).- CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL EXTRACTOR DE LA PLANTA 6



Diámetro de la flecha: 0.1127 m.
Tipo de aletas: Radiales.
Motores: 2 de 100 H.P.
220/440 volts; 50/60 Hz.
119 Amp.; 4 polos.
Diámetro de la polea del motor: 0.302 m.
Diámetro de la polea del extractor: 0.537 m.

TESIS PROFESIONAL.	
CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA OCASIONADA POR LA PIANTA DE ASFALTO DEL D.D.F.	
Fuente: Planta de Asfalto.	
Escala: 1:20	
Celso Barber Vazquez	1985

Producción promedio de mezcla asfáltica: 290 ton/hr.

Consumo de diesel por tonelada producida= 4 litros.

Porcentaje de azufre en diesel= 0.8805%

Densidad relativa del diesel= 0.815

Bióxido de azufre (SO_2) retenido en el agua utilizada: 2.611 Kg/hr.

Qsw = Flujo volumétrico a condiciones normales y húmedas:

$$= 30\,981 \text{ Nm}^3/\text{hr.}$$

$290 \times 4 \times 0.815 \times 0.008805 \times 64/32 = 16.65 \text{ Kg/hr de } \text{SO}_2 \text{ producidos.}$

$16.65 - 2.611 = 14.04 \text{ Kg/hr de } \text{SO}_2 \text{ que salen a la atmósfera con una concentración de:}$

$$14.04 \times 10^6/30\,981 = 453.18 \text{ mg/Nm}^3.$$

$$453.18 \times 24.5/64 = \underline{73.5 \text{ ppm de } \text{SO}_2}.$$

Nota: No fué posible realizar muestreo isocinético en la chimenea, debido a la humedad tan alta de los gases de salida.

III. 4. - LA PLANTA 7.

La Planta 7 tiene como equipo de colección de partículas, un colector de polvos tipo bolsas, el cual tiene 9 módulos con 100 bolsas por módulo, cada bolsa tiene un diámetro de 0.127 m (5 - pulgadas) y una longitud de 2.116 m (7 pies). Para determinar las condiciones de operación del equipo de control, se muestreó a la entrada y a la salida del colector y en la chimenea. Las tablas 9 y 10, muestran los resultados obtenidos a la entrada y a la salida del colector (figuras 17 y 18), respectivamente.

La producción promedio de mezcla asfáltica es de: 247 ton/hr.

Consumo de diesel por tonelada producida: 5 litros.

Porcentaje promedio de azufre en le diesel: 0.97%

III. 4. 1. - RESULTADOS OBTENIDOS EN EL COLECTOR DE BOLSAS.

Incremento de flujo medido a través del colector de bolsas:

$$52\,212.84 - 52\,136 \text{ Nm}^3/\text{hr} = 73.84 \text{ Nm}^3/\text{hr.}$$

Grado de enfriamiento de los gases: 1.3 °C.

Para polvos de arena, se recomienda que el material filtrante - (Nomex), tenga una relación de filtración de 239.76 m/hr (13.11

TABLA 9. - RESULTADOS OBTENIDOS A LA ENTRADA AL COLECTOR DE BOLSAS

NOMBRE DE LA EMPRESA PLANTA DE ASFALTO DEL D.D.F.

PRODUCCION ACTUAL 247 TON/HR PRUEBA EN: PLANTA 7

SELECCION DEL No. DE PUNTOS DE PRUEBA

LONGITUD DEL DUCTO= L = 2.512 m ANCHO DEL DUCTO= B = 0.6 m

DIAMETRO EQUIVALENTE = D eq. = $(2 \cdot B \cdot L / (L + B)) =$ 0.9686 m

No. DE DIAMETROS DEL CONDUCTO EN CONTRA DEL SENTIDO DEL

FLUJO = A-1 = -----

No. DE DIAMETROS EN EL SENTIDO DEL FLUJO = B-1 = -----

DE LA FIGURA A-1 DEL APENDICE ; No. DE PUNTOS DE PRUEBA: 20

LUGAR DEL MUESTREO: ENTRADA AL COLECTOR DE BOLSAS

PRESTION BAROMETRICA DEL LUGAR: 586 mm de Hg. P. est. = 2.387 mm de Hg

Punto #	x	Pd	\sqrt{Pd}	Punto #	x	Pd	\sqrt{Pd}	
CORRIDA No. 1:								
1	40.42	1.69	1.3					
2	30.26	1.44	1.2					
3	20.10	1.21	1.1					
4	9.94	0.90	0.95					
5	2.32	0.70	0.84					
CORRIDA No. 2:								
1	40.42	1.69	1.3					
2	30.26	1.44	1.20					
3	20.10	0.90	0.95					
4	9.94	0.90	0.95					
5	2.32	0.64	0.80					
CORRIDA No. 3:								
1	40.42	1.21	1.10					
2	30.26	1.00	1.00					
3	20.10	0.90	0.95					
4	9.94	0.90	0.95					
5	2.32	0.64	0.80					
CORRIDA No. 4:								
1	40.42	1.21	1.10					
2	30.26	1.00	1.00					
3	20.10	0.81	0.90					
4	9.94	0.72	0.85					
5	2.32	0.42	0.65					
			$\Sigma \sqrt{Pd} = 19.89$					$\Sigma \sqrt{Pd} =$

Tsi = 414.9 K ; Tsf = 397.7 K

CALCULOS:

$T_s = (T_{si} + T_{sf})/2 =$ 406.3 K

$P_d = (\Sigma \sqrt{Pd}/N)^2 =$ 0.989 mm de Hg.

$P_{sa} = 0.464 (P_s/T_s) =$ 0.6665 Kg/m³

$V_s = 3.72 \cdot C \sqrt{(2 \cdot g_c \cdot Pd) / P_{sa}} =$ 17.03 m/seg.

$Q_{sa} = 3600 \cdot V_s \cdot A_s =$ 92 415.7 Am³/hr

$Q_{sw} = 0.392 (P_s/T_s) \cdot Q_{sa} =$ 52 139 Nm³/hr.

TABLA 10. - RESULTADOS OBTENIDOS A LA SALIDA DEL COLECTOR DE BOLSAS

NOMBRE DE LA EMPRESA PLANTA DE ASFALTO DEL D.D.F.

PRODUCCION ACTUAL 247 TON/HR.

PRUEBA EN: PLANTA 7

SELECCION DEL No. DE PUNTOS DE PRUEBA

LONGITUD DEL DUCTO = L = 2.115 m. ANCHO DEL DUCTO = B = 0.615 m

DIAMETRO EQUIVALENTE = D eq. = (2 B L / (L + B)) = 0.953 m

No. DE DIAMETROS DEL CONDUCTO EN CONTRA DEL SENTIDO DEL

FLUJO = A-1 = 1.5

No. DE DIAMETROS EN EL SENTIDO DEL FLUJO = B-1 = 5

DE LA FIGURA A-1 DEL APENDICE ; No. DE PUNTOS DE PRUEBA: 30

LUGAR DEL MUESTREO: SALIDA DEL COLECTOR DE BOLSAS

PRESION BAROMETRICA DEL LUGAR: 586 mm de Hg. P. est. = -15.86 mm de Hg

Punto #	x	Pd	√Pd	Punto #	x	Pd	√Pd
CORRIDA No. 1; LADO 1:				CORRIDA No. 1; LADO 2:			
1	40.42	9.00	3.00	1	40.42	12.25	3.50
2	30.26	-----	-----	2	30.26	-----	-----
3	20.10	-----	-----	3	20.10	-----	-----
4	9.94	7.84	2.80	4	9.94	9.00	3.00
5	2.32	1.17	1.08	5	2.32	7.29	2.70
CORRIDA No. 2:				CORRIDA No. 2:			
1	40.42	6.25	2.50	1	40.42	10.89	3.30
2	30.26	-----	-----	2	30.26	-----	-----
3	20.10	-----	-----	3	20.10	-----	-----
4	9.94	5.29	2.30	4	9.94	9.00	3.00
5	2.32	4.00	2.00	5	2.32	6.25	2.50
CORRIDA No. 3:				CORRIDA No. 3:			
1	40.42	5.29	2.30	1	40.42	6.25	2.50
2	30.26	-----	-----	2	30.26	-----	-----
3	20.10	-----	-----	3	20.10	5.76	2.40
4	9.94	4.84	2.20	4	9.94	4.00	2.00
5	2.32	4.00	2.00	5	2.32	1.82	1.35
Σ √Pd = 20.18				Σ √Pd = 26.45			

Ts1 = 405 K

Tsf = 405 K

CALCULOS:

Ts = (Ts1 + Tsf) / 2 = 405 K

Pd = (Σ √Pd / N)² = 1.359 mm de Hg.

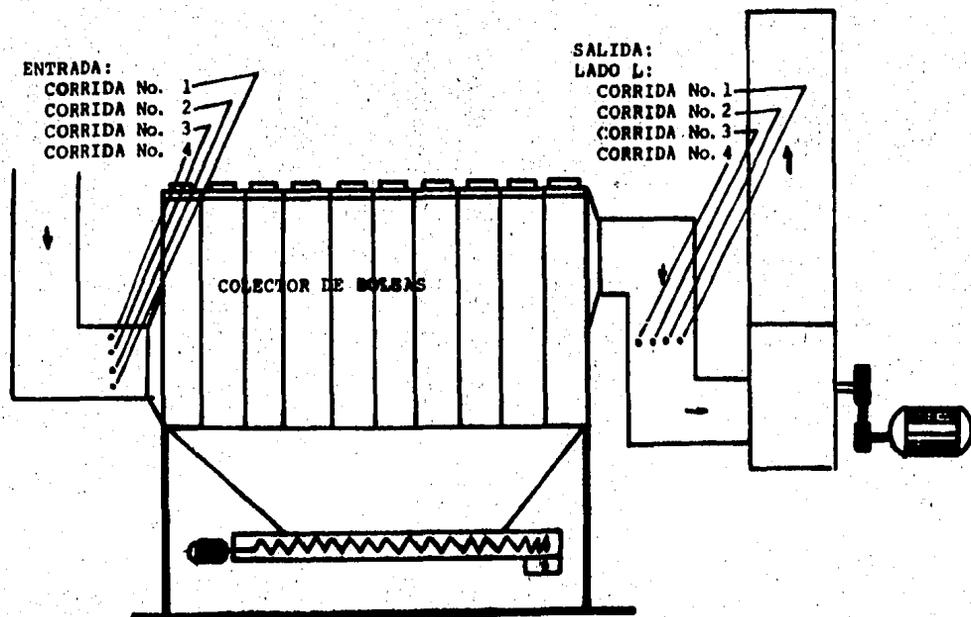
ρsa = 0.464 (Ps / Ts) = 0.6532 Kg/m³

Vs = 3.72 C √(2 gc Pd) / ρsa = 20.16 m/seg.

Qsd = 3600 Vs As = 94 365.7 Nm³ /hr

Qsw = 0.392 (Ts / Ts1) Qsd = 52 212.84 Nm³ /hr.

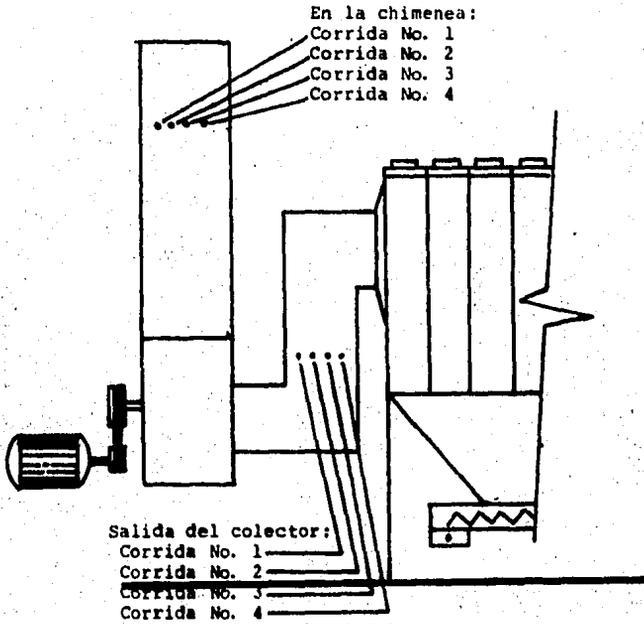
FIGURA No. 17. - PUNTOS DE MUESTREO A LA ENTRADA Y A LA SALIDA DEL COLECTOR DE BOLSAS DE LA PLANTA 7.



-52-

TESIS PROFESIONAL	
CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA OCASIONADA POR LA PLANTA DE ASFALTO DEL DDF	
Calso Berber Vázquez	1985

FIGURA 18.- PUNTOS DE MUESTREO A LA SALIDA DEL COLECTOR DE BOLSAS Y A LA SALIDA DE LA CHIMENEA.



TESIS PROFESIONAL	
CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA OCASIONADA POR LA PLANTA DE ASFALTO DEL DDF	
Celso Berber Vázquez	1985

fpm), por lo que el colector de bolsas de la Planta 7 requiere de una área de filtrado de:

$$94 \ 365.7/239.76 = 396.58 \text{ m}^2 \text{ de tela filtrante.}$$

El area real de filtrado es de:

$$9 \times 100 \times x \ (0.127)(2.1336) = 766 \text{ m}^2 \text{ de tela.}$$

Condiciones de operación del ventilador:

Velocidad angular= 713 rpm.

Temperatura de los gases= 132 °C.

Factor densidad = 0.54

Potencia efectiva del ventilador= 200 H.P. = 149.35

De acuerdo a curvas de ventiladores y por similitud geométrica con el extractor de la Planta 7 (cuyas características se muestran en la 19), la potencia efectiva según el diagrama es de - 276.38 Kw, teniendo una capacidad de diseño de 144 500 m³/hr y ejerciendo una presión total de 327 mm de c. a. (Pd = 67.46 mm. de c. a. y P est. = 260 mm de c. a.).

III. 4. 2. - RESULTADOS OBTENIDOS EN LA CHIMENEA.

Las mediciones realizadas en la chimenea de la Planta 7, se --- efectuaron conforme a lo dispuesto por las normas oficiales mexicanas:

- NOM-AA-09-1973. -"Determinación del flujo de gases que fluyen - por un conducto por medio del tubo de pitot".
- NOM-AA-10-1974. -"Determinación de la emisión de partículas sólidas contenidas en los gases que se descar-- gan por un conducto".
- NOM-AA-56-1979. -"Determinación del bióxido de azufre, trióxido de azufre y neblinas de ácido sulfúrico en -- los gases que fluyen por un conducto".

III. 4. 2. 1. -DETERMINACION DEL NUMERO DE PUNTOS DE MUESTREO.

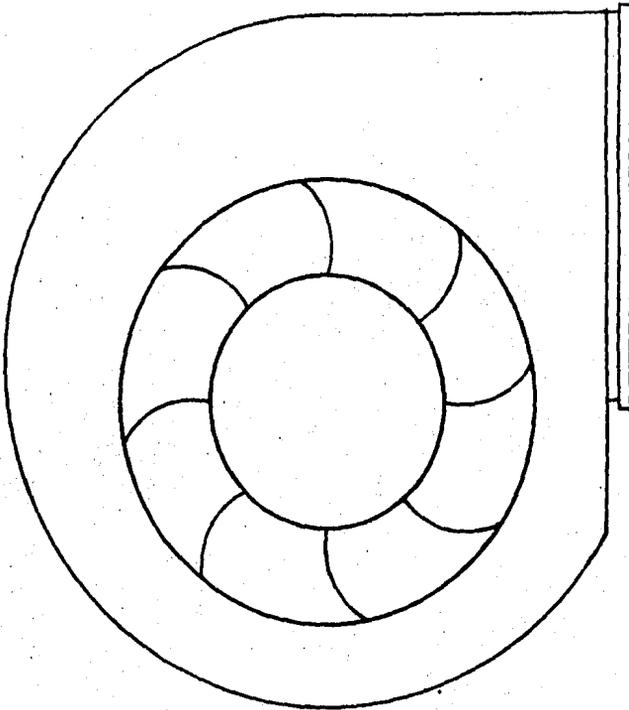
La determinación del No. de puntos de muestreo se realizó con-- forme a lo dispuesto a la NOM-AA-09.

No. de diámetros del conducto en el sentido del flujo:

Distancia B-1= 8

Número de diámetros del conducto en contra del sentido del flu--

FIGURA 19.- CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL EXTRACTOR DE LA PLANTA 7.



Diámetro de la flecha: 0.1143 m.
Tipo de aspas: Curvas hacia atrás.
Diámetro de la polea del motor: 0.55 m.
Diámetro de la polea del extractor: 0.68 m.
Motor: Funcionando 1 de 200 H.P.
220/440 volts; 982 rpm
50 Hz. a 75 9C; 460/230 Amp
4 polos.

TESIS PROFESIONAL	
CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA OCASIONADA POR LA PLANTA DE ASFALTO DEL D.D.F.	
Fuente: Planta de Asfalto.	
Escala: 1:20	
Osorio Barber Vázquez	1985

jo: Distancia A-1 = 2

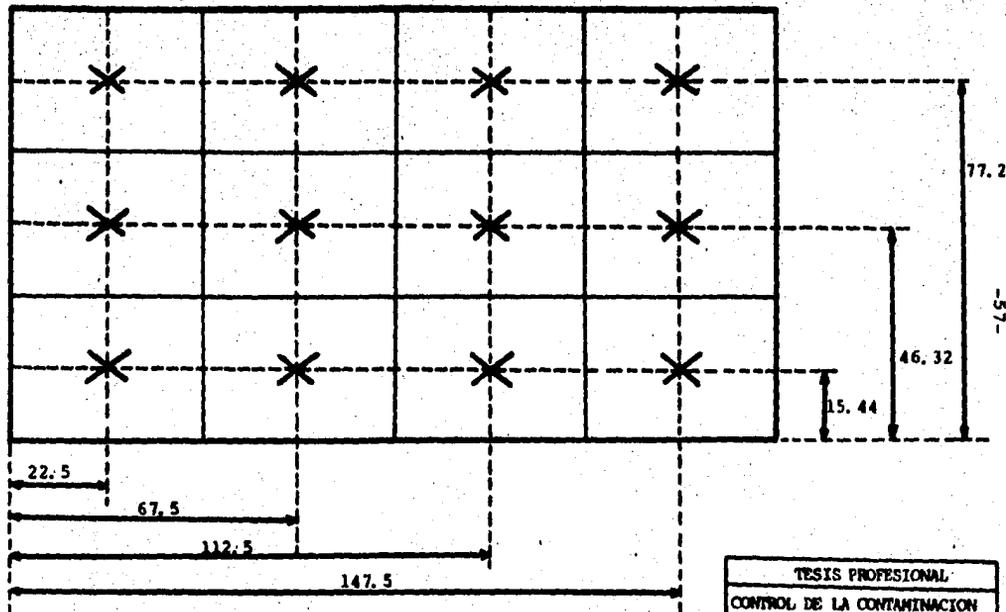
De la figura A-1 del Apéndice:

Número de puntos de prueba = 12.

La figura 20 muestra la localización de los puntos de muestreo en la chimenea y la Tabla 11, muestra los resultados obtenidos en el muestreo isocinético. El resumen de los resultados obtenidos y la interpretación de los mismos se mencionan a continuación:

Volumen de agua colectada en los burbujeadores:	247.25 ml.
Velocidad promedio de los gases en la chimenea:	12.4%
Flujo volumétrico a condiciones ordinarias:	12.289 m/seg.
Flujo volumétrico a condiciones estándar y secas (298 K y 760 mm de Hg.):	39 188 Nm ³ /hr.
Volumen de gas muestreado:	3.45 m ³ .
Tiempo del muestreo:	90 min(5400 seg.)
Polvo colectado:	1.254 g.
Variación isocinética:	91.8%
Peso del proceso:	130 ton/hr.
Emisión de partículas:	21.63 Kg/hr.
Emisión máxima permisible de partículas:	99.74 Kg/hr.
Emisión de bióxido de azufre (SO ₂):	3.55 Kg/hr (30.38 ppm).
Emisión de trióxido de azufre (SO ₃) más neblinas de ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄):	0.2033 Kg/hr. (2.27 ppm).
Emisión máxima permisible de SO ₂ (criterio internacional):	300 ppm.

FIGURA No. 20 -- LOCALIZACION DE LOS PUNTOS DE MUESTREO EN LA CHIMENEA DE LA PLANTA 7.



Nota: Las acotaciones están dadas en centímetros.
Escala 1:10 mts.

TESIS PROFESIONAL
CONTROL DE LA CONTAMINACION
ATMOSFERICA OCASIONADA POR
LA PLANTA DE ASFALTO DEL DDF
Escala 1:10
Osimo Barber Viquez | 1985

TABLA 11. -- RESULTADOS OBTENIDOS EN LA CHIMENEA DE LA PLANTA 7, EN CADA PUNTO DE MEDICION

Nombre de la Empresa: PLANTA DE ASFALTO DDF

Localización: AVE. IMAN No. 263

Operador: CELSO BERRER VAZQUEZ

Factor 'Y' en el medidor: 0.9

Factor Cp (tubo de pitot) 0.825

Diámetro de la boquilla: 3/8 pulg.

Relación de fugas: NO SE REGISTRO m³/hr

Fecha: 24 DE JULIO DE 1984

A	B	C	D	
X	X	X	X	3
X	X	X	X	2
X	X	X	X	1

Temperatura ambiente: 25 °C

Presión barométrica: 586 mm de Hg.

Humedad supuesta: 10 %

Longitud del tubo de pitot: 2.13 m.

Diámetro de la boquilla: 0.00095 m

Fijación del calentamiento en el tubo de pitot: 3

Presión estática: 0.0588 mm de Hg.

Esquema de la sección transversal del ducto o chimenea.

filtro No. 2

No. del punto transversal	Tiempo de muestreo ϕ , en min.	Presión de vacío en mm Hg	Temperatura en la chimenea, K	Presión dinámica, en mm de Hg	Presión diferencial a través del orificio, mm de Hg.	Volumen de gas muestreado, en m ³	Temperatura del gas en el medidor, en K.		Temperatura en la Unidad de muestreo, K	Temperatura a la salida del 4º burbujeador, K
							Tmi	Tmf		
						6.024				
A-1	13:25-13:30	0.26	380.78	0.16	2.14	6.355	299.67	294.67	327.44	284.11
A-2	13:30-13:35	0.26	380.78	0.27	2.14	6.671	300.78	295.22	339.67	283.56
A-3	13:35-13:40	0.26	380.78	0.28	2.14	7.031	300.78	295.22	339.67	283.56
B-1	13:50-13:55	0.28	380.78	0.19	2.30	7.170	308.00	300.22	377.44	283.00
B-2	13:55-14:00	0.27	380.78	0.19	2.17	7.501	306.89	300.22	391.33	283.56
B-3	14:00-14:05	0.30	380.78	0.24	2.36	7.858	305.22	299.67	391.33	283.00
C-1	14:17-14:21	0.22	380.78	0.13	1.66	8.178	309.67	305.22	380.22	285.78
C-2	14:27-14:31	0.22	380.78	0.16	1.71	8.457	310.78	306.33	377.44	285.78
C-3	14:37-14:41	0.22	380.78	0.16	1.71	8.739	310.71	306.33	383.00	289.56
D-1	14:52-15:07	0.19	380.78	0.11	1.39	8.957	308.56	305.22	366.33	291.33
D-2	15:02-15:12	0.20	380.78	0.12	1.39	9.204	309.67	305.22	371.89	293.00
D-3	15:12-15:22	0.20	380.78	0.12	1.39	9.473	309.67	305.22	374.67	294.11
Total	90 min.	2.85	4569.33	2.13	22.51	3.449	3680.46	3618.77	4417.07	3439.33
Promedio		0.24	380.78	0.18	1.87		306.71	301.56	368.09	286.61
Promedio							304.14			

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos y analizando las condiciones de operación de los equipos anticontaminantes en la Planta de Asfalto, se concluye lo siguiente:

IV. 1. - PARA LA PLANTA 5.

1. - El flujo volumétrico se incrementa al pasar por el sistema de colectores ciclónicos en 8 303 Nm³/hr, experimentando - un enfriamiento de 56 2C, esto es debido a que:
 - El sistema de colectores ciclónicos succiona aire del medio ambiente, ocasionando un enfriamiento apreciable de los gases (56 2C).
 - Como consecuencia de lo anterior, se produce incapacidad del extractor de succionar los gases y partículas desprendidos en el secador rotatorio.
2. - La eficiencia teórica de colección de partículas (de diseño) de los colectores ciclónicos es de 81.3% (66.56% para el ciclón grande y 44.12% para los colectores ciclónicos pequeños). Como puede apreciarse, la eficiencia de colección de los ciclones pequeños es muy baja.
3. - Los gases salen del colector de bolsas a una temperatura de 90 2C, esto ocasiona condensación del vapor de agua (proveniente del secado del material triturado) en el material filtrante y como consecuencia, incrustación de "lodos" en la tela filtrante, incrementándose la caída de presión en el colector (12.6 pulg. de c. a.), mayor que la especificada de diseño (6 pulg. de c. a.).
4. - Con respecto al area filtrante requerida, el colector de - bolsas se encuentra diseñado adecuadamente.
5. - La tela filtrante (nomex), resiste una temperatura máxima de operación de 200 2C, por lo que no se tienen problemas

con respecto a la temperatura de operación del colector.

6. - Con un funcionamiento adecuado del equipo anticontaminante de la Planta 5, se emitirían a la atmósfera 44.52 Kg/hr (-140% menos de lo establecido por el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica Originada por la Emisión de Humos y Polvos, la cual establece una emisión máxima permisible de 107 Kg/hr de partículas). Sin embargo, el equipo de control de la Planta 5, se encuentra operando inadecuadamente.
- 7.- La emisión teórica de SO_2 es de 150 ppm, emitiéndose 60% - menos que lo establecido por el Reglamento de San Francisco California (el cual establece una emisión máxima permisible de 300 ppm de SO_2).

IV. 2. - PARA LA PLANTA 6.

1. - El incremento de flujo volumétrico en el lavador húmedo, - es debido al agua evaporada. El incremento es de 5 934.87- Nm^3/hr , equivalente a 0.1172 m^3/min de agua líquida.
2. - La bomba utilizada para el suministro del agua de captura al lavador húmedo, maneja un flujo de 1.8172 m^3 (480 GPM), a una presión de 42.6 psig; equivalente a una presión dinámica de 30 m.
El motor que acciona la bomba de suministro de agua es de 60 H.P.; congruente a lo estipulado a gráficas de bombas.
3. - El extractor de la Planta 6 está diseñado para manejar 96.7% mas de flujo que el actual.
4. - La Planta 6 emite teóricamente a la atmósfera 79.23 Kg/hr- de partículas; 45.9% menos de lo establecido por el Reglamento respectivo.
5. - La emisión teórica de SO_2 es de 73.5 ppm. 75.5% menos que- lo establecido por el Reglamento respectivo considerado.
6. - La Planta 6 funciona bien cuando se opera adecuadamente su equipo de control ambiental; sin embargo, el lavador húmedo

existente se está oxidando, debido a la acidez presente en el agua, al absorber ésta última, parte de los óxidos de azufre desprendidos en el proceso de combustión del diesel. Además, el agua "limpia" utilizada en el lavador húmedo contiene sólidos en suspensión, lo cual resta eficiencia al colector húmedo.

IV. 3. - PARA LA PLANTA 7.

1. - El aumento de flujo medido en el colector de bolsas es de 73.84 Nm³/hr. Esto es debido, parte a los errores de medición y parte al aire reverso, que se suministra para la limpieza de las bolsas.

2. - Los gases a través del colector no sufren enfriamiento apreciable (1.3 °C), no presentándose problemas de incrustación de polvos en el material filtrante.

El material filtrante (nomex), resiste una temperatura máxima de operación de 200 °C, por lo que no se tienen problemas con respecto a la temperatura de operación (135 °C)

3. - De acuerdo a las condiciones de operación registradas, el colector de bolsas tiene una capacidad de diseño para filtrar un flujo de gases hasta 165 300 Nm³/hr.

4. - El extractor de la Planta 7 está diseñado para manejar 53% mas de flujo que el actual.

5. - La Planta 7 emite a la atmósfera 21.63 Kg/hr de partículas, 370% menos que lo establecido por el Reglamento respectivo.

6. - La emisión de SO₂ a la atmósfera es de 69.36 ppm, 77% menos que lo establecido por el Reglamento considerado.

CAPITULO V

RECOMENDACIONES PARA EL CONTROL DE GASES Y PARTICULAS.

V.1.- PARA EL CONTROL DE PARTICULAS.

Las fuentes de contaminación son:

- Trituradoras.
- Cribas de clasificación
- Descarga de bandas transportadoras
- Tolvas
- Secador rotatorio
- Transportador de cangilones
- Mezclador (para la Planta 5)
- Silos de almacenamiento.

Los orígenes de mayor importancia, son el secador rotatorio y el sistema de trituración, éste último consistente de: trituradora, criba de clasificación y descarga a la banda transportadora.

V.1.1.- PARA EL SISTEMA DE TRITURACION.

Durante el proceso de trituración del material basáltico, se ha ce inevitable la emisión de partículas; para evitar dicha emi-- sión, se recomienda confinar lo mas posible el sistema de tritu ración y adaptarle campanas de succión; los polvos succionados- se recomienda colectarlos en un filtro de polvos tipo bolsas, - la Ingeniería básica del sistema de trituración se describe a continuación:

- 1.- Para la trituradora, se recomienda confinarla lo mas posi ble y succionar un flujo de aire a una velocidad de captu- ra de 1.016 m/seg (200 fpm) (velocidad de fase en la campa na).

La velocidad mínima de transporte recomendable es de:
17.78 m/seg (3 500 fpm).

La caída de presión ocasionada por la succión es de 0.5Pd
Para un ducto de succión de 0.016 m de diámetro (4"), se -

succiona un flujo de 519 m³/hr.

El area de fase de la campana es de 0.1417 m².

Se propone en la campana: L = 0.30 m ; B= 0.38 m.

Area corregida de la campana = 0.1444 m².

Velocidad de fase corregida = 0.9972 m/seg.

2. - Para la criba de clasificación:

En la criba de clasificación se recomienda succionar un --
flujo de 1828.8 m³/hr/m² de area efectiva de cribado.

Area efectiva de cribado = 2 x 1.8 = 3.6 m².

Flujo volumétrico recomendado en la succión: 6583.68 m³/hr

Pérdida de presión en la succión: 0.5Pd.

Diámetro mínimo recomendable de transporte: 0.3556 m (14").

Recalculando:

Velocidad del ducto de transporte: 18.41 m/seg.

Area de fase de la campana (propuesta) = 1 m²
(L= 1 m ; B=1 m).

3. - Para la descarga a la banda transportadora:

Ancho de la banda = 0.4 m.

El flujo de succión recomendado para un ancho de banda de-
0.4 m, es de 1870 m³/hr.

Diámetro mínimo recomendado del ducto de transporte:

0.1778 m (7").

Recalculando:

Velocidad de transporte de los gases = 20.92 m/seg.

Area de la campana (area de fase) = 0.25 m²

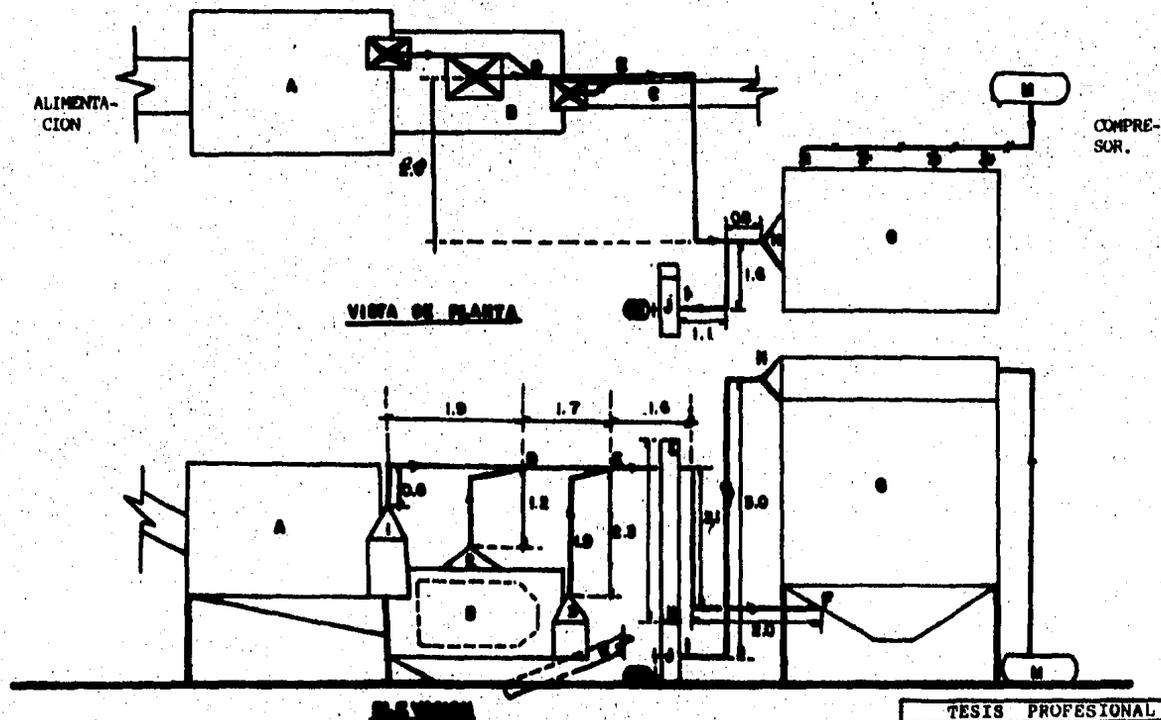
(L = 0.5 m; B = 0.5 m).

La figura 21 muestra el sistema propuesto, el balanceo del sis-
tema se muestra en la Tabla 12.

V.1.1.1.- PROCEDIMIENTO DEL BALANCEO.

La resistencia de cada brazo es calculada de acuerdo a los diá-
metros de diseño y la longitud de tramo recto desde la campana-
a la unión del próximo brazo. En cada unión, la presión estáti-
ca en cada brazo (en paralelo) debe ser la misma. Cuando la re-
lación de la presión estática mayor a la presión estática menor

FIGURA 21.- SISTEMA DE COLECCION DE PARTICULAS PROPUESTO PARA CONTROLAR LA EMISION PARTICULAS EN EL SISTEMA DE TRITURACION.



-29-

TESIS PROFESIONAL	
CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA OCASIONADA POR LA PLANTA DE ASPALTO DEL DUF	
Colo Barber Vázquez	1985

TABLA 12. - BALANCO DEL SISTEMA DE CONTROL DE PARTICULAS EN EL AREA DE TRITURACION

NOMBRE DE LA PLANTA: PLANTA DE ASFALTO DEL D.D.P.
 LOCALIZACION: AVE. IMAN No. 263: COL. AMUSCO
 AREA DE ESTUDIO: AREA DE TRITURACION

REFERIDO A: FIGURA No. 21
 ELEVACION: 2 150 m.
 TEMPERATURA: 25 °C

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Nº DEL BRACO O DUCTO PRINCIPAL	DIAMETRO DEL DUCTO, EN M.	AREA DEL DUCTO, EN M ²	CAUDAL DE AIRE EN EL BRACO, EN M ³ /M.	VELOCIDAD, EN M/SEG.	SECCION DEL TUBO RECTO.	SECCION DEL DUCTO EN UZCUBO EQUIVALENTE.	LONGITUD EQUIVALENTE.	LONGITUD TOTAL.	RESISTENCIA, EN CM DE P. POR CADA SECCION.	RESISTENCIA TOTAL.	DE COEF. DE COL. I Y TABLA A-8	DE COEF. DE COL. II Y TABLA A-8	DE COEF. DE COL. III Y TABLA A-8	DE COEF. DE COL. IV Y TABLA A-8	DE COEF. DE COL. V Y TABLA A-8	DE COEF. DE COL. VI Y TABLA A-8	DE COEF. DE COL. VII Y TABLA A-8	DE COEF. DE COL. VIII Y TABLA A-8	DE COEF. DE COL. IX Y TABLA A-8
1-D	0.1016	0.0081	519	17.78	2.5	1.2	2.97	5.47	4.9	26.8	19.34	0.5	1.5	29.00	55.8				
2-D	0.3556	0.0993	6583.68	18.41	1.2	1.2	6.20	7.40	1.05	7.8	20.73	0.5	1.5	31.1	38.9				
LOS BRAZOS 1-D Y 2-D ESTAN DESBALANZADOS UN 43.5% RECALCULANDO 2-D:																			
2-D	0.3302	0.0856	6583.68	21.36	1.2	1.2	5.8	7.00	1.53	10.7	28.00	0.5	1.5	41.86	52.8	55.8	678		
LOS BRAZOS 1-D Y 2-D ESTAN DESBALANZADOS UN 5.18% SE INCREMENTA EL FILTRO DE AIRE EN 2-D EN: 678.17 m ³ /hr																			
D-E	0.3556	0.0993	7303.17	20.43	1.7	1.7	1.7	1.7	1.28	2.18	25.52							57.9	59.6
3-E	0.1778	0.0248	1870	20.95	1.9	1.9	4.57	6.47	3.00	19.4	26.8	0.5	1.5	40.26	59.68				
LOS BRAZOS D-E Y 3-E ESTAN DESBALANZADOS UN 2.9% SE INCREMENTA EL FILTRO DE AIRE EN D-E EN: 7409 m ³ /hr																			
E-F	0.4064	0.1297	9279	19.87	1.7	1.7	29.96	36.96	1.035	38.2	22.00							97.64	
G	RESISTENCIA DEL COLECTOR DE BOLSAS INCLUYENDO LA ENTRADA AL VENTILADOR: 152.4																		
H-Y	0.4064	0.1297	9279	19.87	6.5	6.5	22.0	28.5	1.035	29.5	22.0							250.64	279.54
J	VENTILADOR TIPO CENTRIFUGO: Cent. = 0.405 m; SALIDA: 0.4 m x 0.315 m.																		
K-L	0.405	0.1288	9279	20.01							24.48								
K-L	0.352	0.126	9279	20.45	2.1			2.1	1.3	2.74	25.56								
P. EST. DEL VENT. = P. EST. SALIDA - P. EST. ENTRADA - P. DIN. A LA ENTRADA = 2.74 - (279.54) = -24.48 = 247.8 mm de c.a.																			
CALCULO DE LAS CARACTERISTICAS DEL VENT. A C.N.										CORRECCION POR ELEVACION Y TEMP.									
CAPACIDAD 9 279 m ³ /hr										TIPO Y TAMAÑO DEL VENTILADOR: CENTRIFUGO = 40 CM									
P. T. DEL VENTILADOR: 283.35 mm de c.a.										2 950 RPM 9 279 m ³ /hr									
P. LIST. DEL VENTILADOR: 257.8 mm de c.a.										8.8 H.P. 188.19 de P. est. en mm dec. u.									
										MOTOR (ES): 1 DE 10 H.P. BANDAS EN V: 3 TIPO A-31									

excede el valor 1.2 (20%), el brazo con menor caída de presión será rediseñado (reduciendo su diámetro) para incrementar la velocidad y así, la pérdida de presión en el ducto.

Cuando las pérdidas de presión en los ductos en paralelo difieren en 20% o menos, el balanceo puede obtenerse incrementando el flujo de aire a través del ducto con menor resistencia. El incremento en m³/hr los dá la siguiente expresión:

$$m^3/hr \text{ corregidos} = m^3/hr \text{ de diseño} \sqrt{\frac{P. \text{ est. mayor}}{P. \text{ est. menor}}}$$

Para compensar el incremento en presión dinámica en el ducto principal, se usa la ecuación siguiente:

$$Pd_{1-2} = \frac{(Qsa_1 + Qsa_2)^2}{(14532.88(A_1 + A_2))^2}$$

Detalles de la operación

No.	Campana No.	Succión mínima, en m ³ /hr
A. - Trituradora	1	519
B. - Criba de clasificación	2	6 583.68
C. - Banda transportadora, de 40 cm de ancho.	3	1 870
G. - Colector de bolsas		
J. - Ventilador tipo centrífugo.		
M. - Compresor.		

Dimensiones

No. del brazo o ducto principal	m ³ /hr recomendados.	Longitud de tubo recto, en m.	Codos	Entradas.
1-D	519	2.5	1-90º + 1-60º	1-30º
2-D	6 583.68	1.2	1-90º	
D-E	7 102.68	1.7		
3-E	1 870	1.9	1-90º	1-30º
E-F	8972.68	7.7	4-90º	

G	8 972.68		
H-I	8 972.68	6.5	3-902
J	8 972.68		
K-L	8 972.68	2.1	

V. 1. 1. 2. - DISEÑO DEL COLECTOR DE BOLSAS

Se recomienda utilizar como material filtrante poliéster. La lim pieza de las bolsas sera mediante sacudido neumático por medio - del suministro de aire comprimido, por el interior de las bolsas. El aire comprimido provendrá de un compresor (M), accionado por un motor de 10 H.P., para ejercer una presión de aire de lim--- pieza de 100 lb/in².

Cálculo de la relación de filtración (R.f.) (tabla A-5 del ApénDICE.

$$R.f. = 18.288 \times A \times B \times C \times D \times E$$

A = 12 para polvos de arena.

B = 0.8 para filtración de gases de proceso.

C = 0.95 a una temperatura efectiva de 25 2C.

D = 1.0 para una finura de polvos de 10 a 50 micras.

E = 0.9 para una carga efectiva de polvos de 70 g/m³ (30.58 gr/ft³).

$$R.f. = 150.1 \text{ m}^3/\text{hr}/\text{m}^2 \text{ de tela.}$$

Area efectiva de filtrado :

$$Q_{sa}/R.f. = 9\ 279/150.1 = 61.82 \text{ m}^2 \text{ de tela filtrante.}$$

Determinación del número de bolsas requeridas:

$$\phi_b = 0.125 \text{ m (5")}$$

$$l_b = 2.1336 \text{ m (7 pies)}$$

$$A_b = \phi_b \times l_b = 0.8513 \text{ m}^2.$$

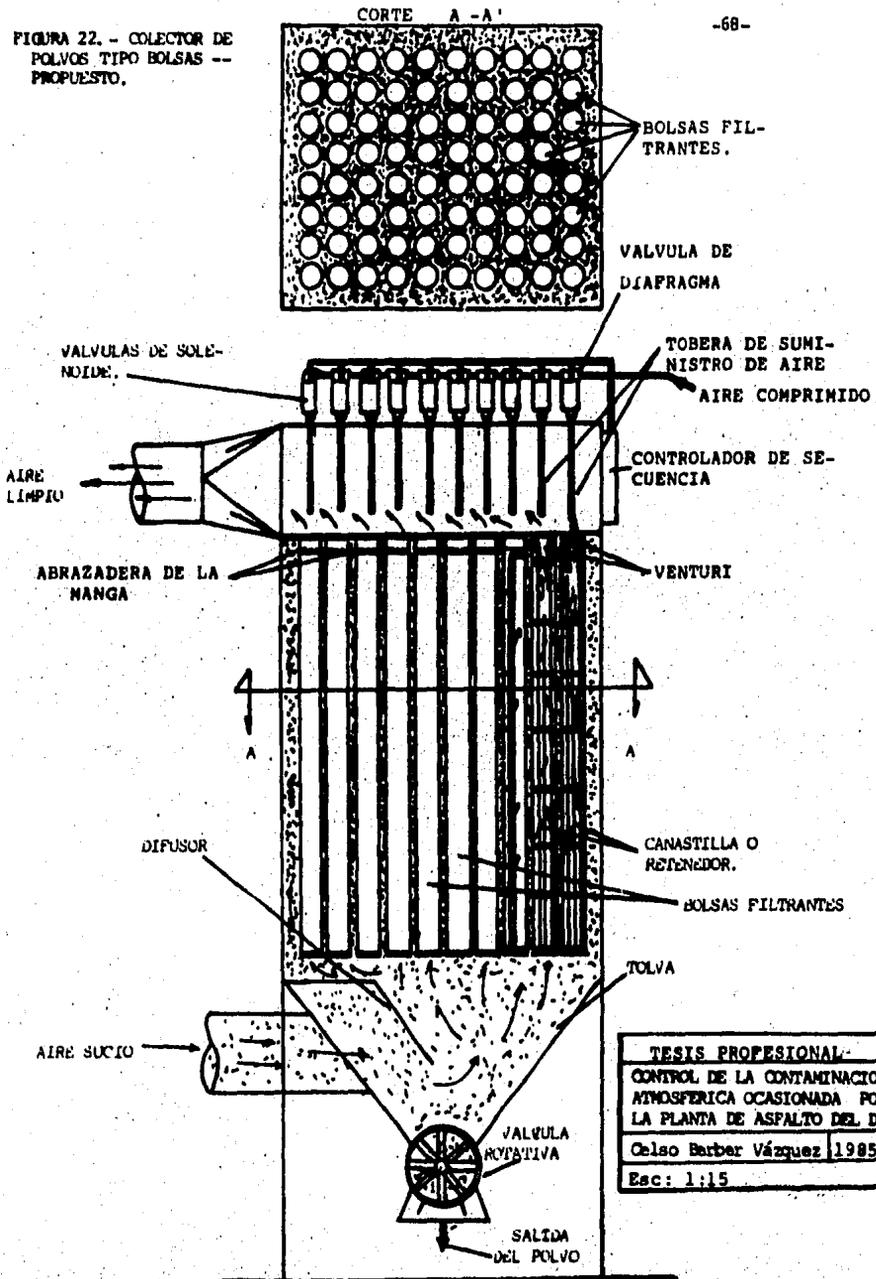
$$\text{No. de bolsas} = 61.82/0.8513 = 72.62$$

$$\text{No. de bolsas recomendadas} = 72.92 \times 1.1 = 79.89$$

$$= 80 \text{ bolsas.}$$

La figura 22 muestra el diseño del colector de bolsas propuesto.

FIGURA 22. - COLECTOR DE POLVOS TIPO BOLSAS -- PROPUESTO.



<p>TESIS PROFESIONAL: CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA OCASIONADA POR LA PLANTA DE ASFALTO DEL DDF Celso Barber Vázquez 1985 Esc: 1:15</p>

V.1.1.3.- SELECCION DEL VENTILADOR

Datos conocidos:

Flujo de gas actual = 9 272 m³/hr.

Temperatura del gas = 25 °C

Altura sobre el nivel del mar = 2 150 m.

Densidad del gas @ 21 °C y 760 mm de Hg = 1.2 Kg/m³.

Presión estática requerida a condiciones normales:

257.8 mm de c.a.

Cálculo:

Seleccionando un ventilador tipo centrífugo, de aspas curvas hacia atrás, para trabajar a una baja caída de presión. El ventilador tendrá una boca de entrada de 0.405 m de diámetro y una boca de salida de 0.4 m x 0.315 m.

Factor densidad (a 25°C y 2 150 m) de la

Tabla A-6 del Apéndice

0.73

Densidad en la boca de entrada al ventilador

$$\rho_{sn} = 0.73 \times 1.2 = 0.876 \text{ Kg/m}^3$$

Velocidad del gas a la salida del ventilador

$$V_B = \frac{9\ 272}{3600 \times 0.4 \times 0.315} = 20.44 \text{ m/seg.}$$

Presión dinámica de los gases (de la Tabla A-4 del Apéndice).

25.55 mm de c.a.

Presión total de los gases

$$P_s = 257.8 + 25.55 = 283.35 \text{ mm dec.a.}$$

Velocidad angular requerida por el ventilador, según el diagrama de la Figura 23.

2 950 rpm.

Potencia efectiva según el diagrama de la Figura 23.

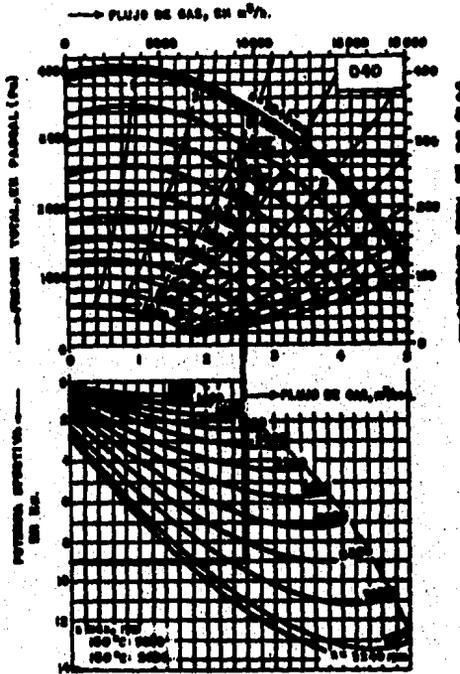
9 Kw.

Datos corregidos por elevación y temperatura

Flujo volumétrico: 9 272 m³/hr.

Velocidad angular del ventilador: 2950 rpm.

FIGURA 23.- GRAFICA DE OPERACION DEL VENTILADOR PRO-
PUESTO.



Secc de entrada: $\phi = 0.406$ m.
Secc de salida: 0.4 m x 0.215 m.

TESIS PROFESIONAL	
CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA OCASIONADA POR LA PLANTA DE ASFALTO DEL DDC	
Osiao Barber Vázquez	1985

Presión estática = $257.8 \times 0.875/1.2 = 188.19$ mm de c. a.

Potencia efectiva = $9 \times 0.875/1.2 = 6.57$ Kw

= 8.8 H.P.

Con un motor de 10 H.P., se logran las condiciones de operación fijadas por el sistema.

V. 1. 1. 4. - REQUERIMIENTOS DE MATERIAL PARA EL SISTEMA DE TRITURACION.

Partida	Descripción	Cantidad
1	Lámina calibre 12 de acero al carbón, para la fabricación del cuerpo del colector y las campanas de succión, además de la placa soporte de las -- bolsas filtrantes.	25.74 m ²
2	Lámina calibre 14 de acero al carbón para la fabricación de la tolva del colector de bolsas.	3 m ²
3	Lámina calibre 18 de acero al carbón para la fabricación de los ductos de transporte.	30 m ²
4	Abrazaderas para fijar las bolsas a la placa soporte y al -- plenum del colector.	160 pzas.
5	Canastillas (retenedores) de alambre calibre 10, con 20 anillos.	80 pzas.
6	Poliéster para la fabricación de las bolsas filtrantes.	68.1 m ²
7	Venturis de aluminio para la limpieza de las bolsas.	80 pzas.
8	Válvulas de solenoide, para la limpieza neumática de las bolsas.	10 pzas.
9	Valvulas de diafragma para el suministro del aire comprimido.	10 pzas.
10	Coples Dresser, de 1" de diámetro, para la interconexión de las válvulas de diafragma con las válvulas de solenoide.	10 pzas.

11	Toberas de aluminio, para el suministro del aire comprimido al venturi.	80 pzas.
12	Difusor de lámina de acero al carbón, calibre 14, para producir una sedimentación primaria de los polvos succionados.	1.7 m ²
13	Válvula rotativa de 5 pulg. de diámetro, para la descarga de los polvos de la tolva.	1 pza.
14	Controlador de secuencia (timer) para controlar el tiempo de suministro del aire de limpieza a las bolsas - filtrantes.	1 pza.
15	Ángulos de 1/4" x 3/8" para la estructura soporte del colector de -- bolsas.	60 m.
16	Ventilador tipo centrífugo de aspas curvas hacia atrás y con una boca de entrada de 0.405 m.	1 pza.
17	Motor de 10 H.P., 2 polos, 3450 rpm C.A. para accionar el ventilador.	1 pza.
18	Polea acoplada al motor, de 5.2 pulg. de diámetro.	1 pza.
19	Polea acoplada al ventilador, de 7 pulg. de diámetro.	1 pza.
20	Bandas en V, para la transmisión de potencia del motor al ventilador, tipo A-31.	3 pzas.
21	Ductería de suministro de aire comprimido, de acero flexible.	8.5 m.
22	Conjunto motor-compresor, para el suministro de aire comprimido a las bolsas. El compresor deberá tener una capacidad de 9 m ³ y ejercer una presión del aire de limpieza de --- 100 lb/in ² .	1 conjunto.

V.1.2.- PARA LA PLANTA 5

De acuerdo a las conclusiones obtenidas, para controlar la ---- emisión de partículas en la Planta 5, se recomienda lo siguiente:

- 1.- Eliminar el conjunto de ciclones pequeños, debido a que son de baja eficiencia y ocasionan una caída de presión adicional (además de fugas en el sistema de colección).- Al eliminar el sistema de colectores ciclónicos pequeños, se abate la caída de presión ocasionada por el sistema y se tiene mayor capacidad de succión de los polvos desprendidos en el secador rotatorio; evitándose así, la succión del aire del medio ambiente.

Justificación teórica:

Succión de gases en el secador rotatorio: 50 975 Am³/hr

Velocidad de los gases a la entrada al ciclón grande:

11.24 m/seg (se incrementa la velocidad a la entrada al ciclón y como consecuencia, se prevendrá que el polvo se sedimente).

Cantidad de partículas emitidas en el secador rotatorio:

7 942 Kg/hr.

Dp₅₀ del ciclón grande = 18.2 micras.

Eficiencia de colección de partículas del ciclón grande:

68.08%

Se retiene de partículas en el ciclón grande: 5 407 Kg/hr

Entra al colector de bolsas: 2 535 Kg/hr de partículas.

Eficiencia promedio del colector de bolsas: 97% (puede alcanzarse hasta un 99% de eficiencia).

Sale del colector de bolsas; 76.05 Kg/hr de partículas.

Emisión máxima permisible: 107 Kg/hr de partículas.

Por consiguiente, no se requieren los colectores ciclónicos pequeños.

- 2.- Conexión del ciclón grande directamente al colector de bolsas.
- 3.- Limpieza de las bolsas del colector y sustitución de aquellas que se encuentren perforadas.
- 4.- Con un mantenimiento periódico al sistema de control de la Planta 5, se controla la emisión de partículas.

V.1.3.- PARA LA PLANTA 6.

Se determinó que la Planta 6 funciona satisfactoriamente, emitiendo teóricamente a la atmósfera: 79.23 Kg/hr de partículas.- Sin embargo, el lavador húmedo presenta problemas de corrosión, debido a la acidez que presenta el agua utilizada en el colector, al solubilizarse en ella parte de los óxidos de azufre (SO_2 y SO_3) provenientes de los gases de combustión (se considera que se absorben 0.0256 g de SO_3 /lt). El colector húmedo (Figura 24) puede adaptarse para resistir la corrosión, recubriéndose con material anticorrosivo (fibra de vidrio, por ejemplo).

V.1.3.1.- RECUBRIMIENTO DEL LAVADOR HUMEDO.

Area del colector a recubrirse: 40 m².

Modo del recubrimiento:

- 1.- Limpiar la superficie perfectamente bien sin lisar (un poco porosa).
- 2.- Preparar la resina de la siguiente manera:
25% de monómero de estireno
1% de cobalto como catalizador.
2% de dimetil-etil-cetona como acelerador (no agregar juntos el catalizador y el acelerador).
Tiempo de gelado: de 25 a 30 min.
- 3.- Untar con brocha o barnizador (se dispone de 20 a 30 min.- para hacer el capeado). Se recomienda picar con la brocha la fibra de vidrio, para evitar burbujas de aire.

Densidad de la resina = $\rho_r = 1.13$ a 1.14 g/cm³ a T = 23°C.

$$\bar{\rho}_r = 1.135 \text{ g/cm}^3.$$

Para recubrir una superficie de 40 m² con un espesor de 3 mm, se requiere de 136.2 Kg de resina isoftálica.

De monómero de estireno: $0.25 \times 136.2 = 34.05$ Kg.

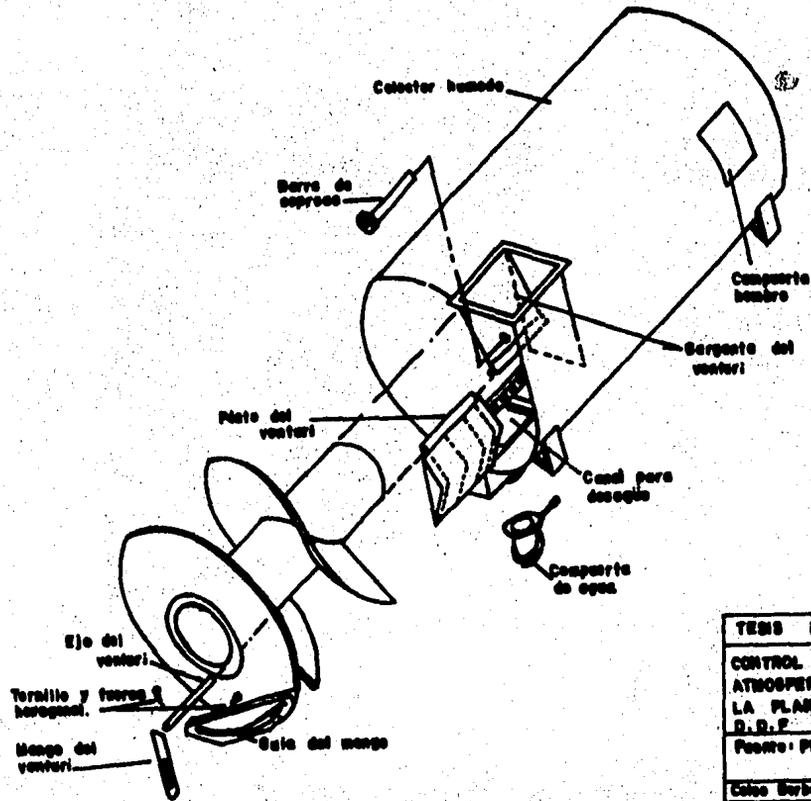
De cobalto: $0.01 \times 136.2 = 1.362$ Kg.

De dimetil-etil-cetona: $0.02 \times 136.2 = 2.724$ Kg.

De fibra de vidrio en colchoneta (mas recomendable)

$$40 \text{ m}^2 \times (1 \text{ Kg}/2 \text{ m}^2) = 20 \text{ Kg.}$$

FIGURA 24.- COLECTOR HUMEDO DE LA PLANTA 6.



TESIS PROFESIONAL	
CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA OCASIONADA POR LA PLANTA DE ASPALTO DEL D.D.F.	
Punto: Puesto de Asfalto	
Colo Barber Vazquez	1985

V.1.3.2.- SUMINISTRO DE AGUA LIMPIA AL LAVADOR HUMEDO.

Se recomienda que el agua de suministro al lavador húmedo, presente una cantidad mínima de polvos. Esto se logra (si no se dispone de agua limpia) operando adecuadamente el sistema de sedimentación, utilizando eficientemente la alberca de sedimentación.

V.1.4.- PARA LA PLANTA 7.

La Planta 7 funciona satisfactoriamente, solo se recomienda dar un mantenimiento periódico al equipo de control.

V.2.- PARA EL CONTROL DE LAS EMISIONES DE SO₂.

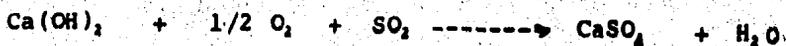
Actualmente, no existe Ley o Reglamento en la República Mexicana que establezca la emisión máxima permisible de SO₂ en Industrias. Considerando la Norma de emisión de San Francisco California (la cual establece una emisión máxima permisible de 300 ppm), las tres plantas productoras de mezclas asfálticas de la Planta de Asfalto del D.D.F.; está dentro de dicho Reglamento de emisión. Sin embargo, la descarga másica de SO₂ en la Planta 7, teóricamente es mayor que para la Planta 5 y 6 (Ver Tabla 13).

Hay varios métodos industriales utilizados para abatir la emisión de SO₂, entre las cuales se destacan:

- Cambio de combustible utilizado por otro con un porcentaje menor de azufre.
- Los procesos seco y húmedo de inyección de CaCO₃.
- Los procesos de oxidación catalítica.
- El proceso de lavado usando una sal sódica, como el Na₂CO₃.
- El proceso de lavado húmedo utilizando una solución alcalina a base de cal hidratada (Ca(OH)₂).

Debido a su bajo costo, se recomienda la adaptación del proceso-húmedo con el suministro (en lugar de agua simple) de una solución de cal apagada para la retención del SO₂. Mediante este sistema se controla la contaminación provocada tanto por partículas como óxidos de azufre.

La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:



La Tabla 13 resume los resultados obtenidos para el control de SO_2 en la Planta de Asfalto del D.D.F.

Se enfatiza en la adaptación a mediano plazo de colectores húmedos en las tres diferentes plantas productoras de mezclas asfálticas, ya que solo mediante estos equipos de control, se logra retener tanto partículas como gases de combustión. Se toma en cuenta que hay escasez de agua en la zona donde se encuentra instalada la Planta de Asfalto, por lo que se propone establecer un convenio con la Dirección General de Construcción y Operación -- Hidráulica (DGCOH) para el suministro de agua tratada para los equipos de control.

TABLA 13.- Cantidad de Ca(OH)_2 , requerida para remover el SO_2 de los gases de combustión (óxidos de azufre) que se emiten en la Planta de Asfalto.

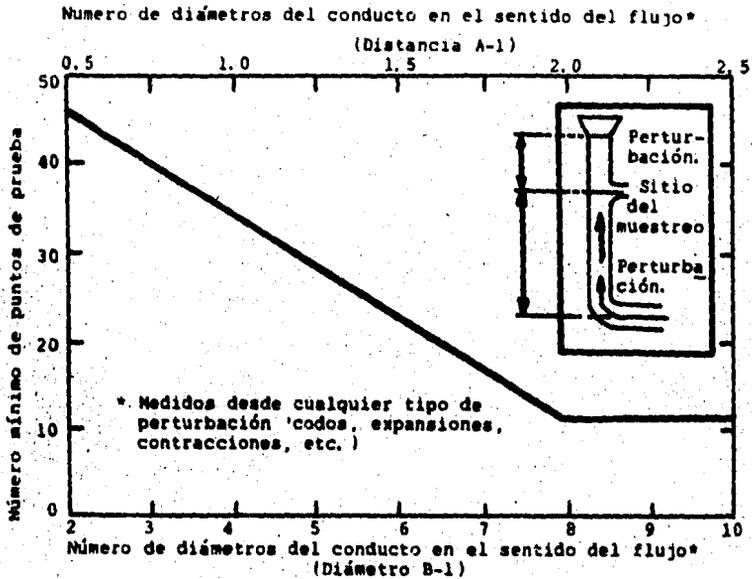
	Kg/hr de SO_2 emitidos.	ppm de SO_2	Kg/hr de Ca(OH)_2 requeridos.
PLANTA 5	14.4938 (t)	198.3	20.95
PLANTA 6	14.04 (t)	191.0	20.24
PLANTA 7	19.52 (t)	67.0	28.21
PLANTA 7	3.35 (m)	32.65	4.84

(t) Valor teórico

(m) Valor medido.

A P E N D I C E

FIGURA A-1.-DETERMINACION DEL NUMERO DE PUNTOS DE PRUEBA EN CONDUCTOS DE SECCION CIRCULAR O RECTANGULAR.

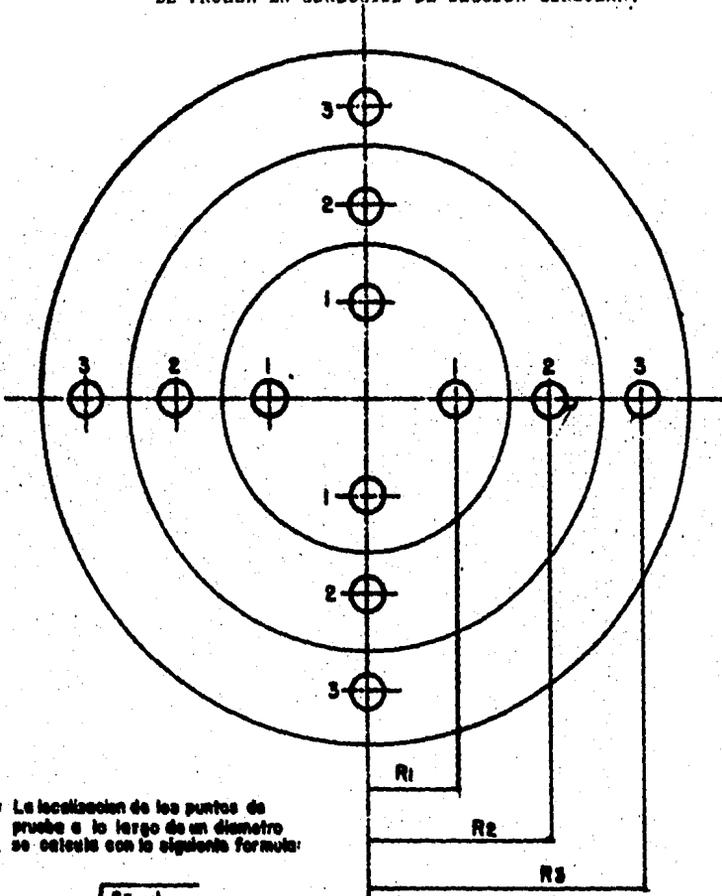


USO DE LA FIGURA

- 1.- Se determina A-1 y B-1
- 2.- Se determina el número de puntos de prueba para cada distancia.
- 3.- Se selecciona el mayor de los valores determinados, cuando éste no sea múltiplo de 4, se toma el siguiente número mayor que sí lo sea.

FUENTE: Referencia 15 de la Bibliografía.

Figura A-2.- DETERMINACION DE LAS POSICIONES DE LOS PUNTOS DE PRUEBA EN CONDUCTOS DE SECCION CIRCULAR.

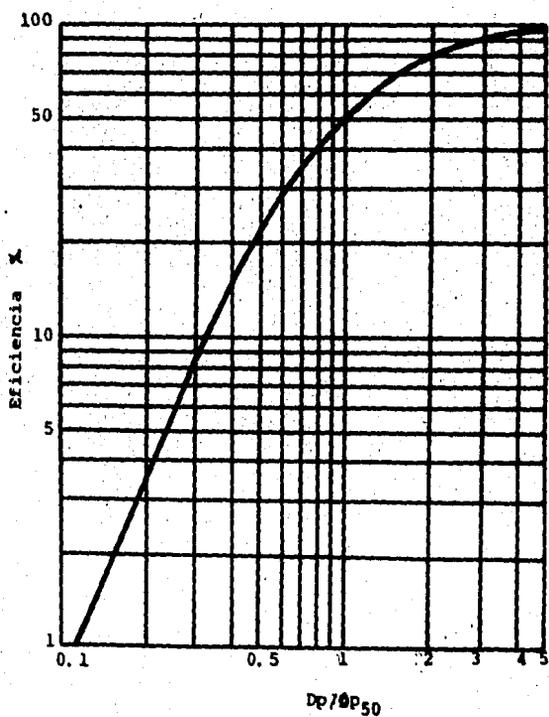


Note: La localización de los puntos de prueba a lo largo de un diámetro se obtiene con la siguiente fórmula:

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

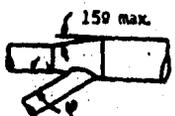
FUENTE: Referencia 15 de la Bibliografía.

FIGURA No. A-3.- GRAFICA PARA LA DETERMINACION DE LA EFICIENCIA PARCIAL DE COLECCION DE PARTICULAS.



FUENTE: Referencia 4 de la Bibliografía.

FIGURA A-4. - LONGITUD EQUIVALENTE PARA CODOS NORMALES (ESTAN-
DAR) Y ENTRADAS.

LONGITUD EQUIVALENTE, EN metros.					
					
Ø DEL TU- BO, en mm.	CODO DE 90º (*)			ANGULO (º) DE ENTRADA	
	RADIOS DEL ECNTRO DE LINEA			30º	45º
	1.5 Ø	2.0 Ø	2.5 Ø		
75	1.4	0.9	0.7	0.5	0.9
100	2.0	1.3	1.1	0.8	1.3
125	2.6	1.7	1.4	1.1	1.7
150	3.2	2.2	1.8	1.4	2.2
175	3.9	2.6	2.2	1.7	2.6
200	4.6	3.1	2.5	2.0	3.1
250	6.0	4.0	3.3	2.6	4.0
300	7.4	5.0	4.1	3.2	5.0
350	8.9	6.0	5.0	3.8	6.0
400	10	7.0	5.8	4.5	7.0
450	12	8.1	6.7	5.2	8.1
500	14	9.2	7.6	5.9	9.2
600	17	11	9.5	7.3	11
700	21	14	11	8.8	14
800	24	16	13	10	16
900	28	19	15		
1000	32	21	18		
1200	39	26	22		
1400	47	32	26		
1600	55	37	31		
1800	64	43	36		
2000	72	49	40		

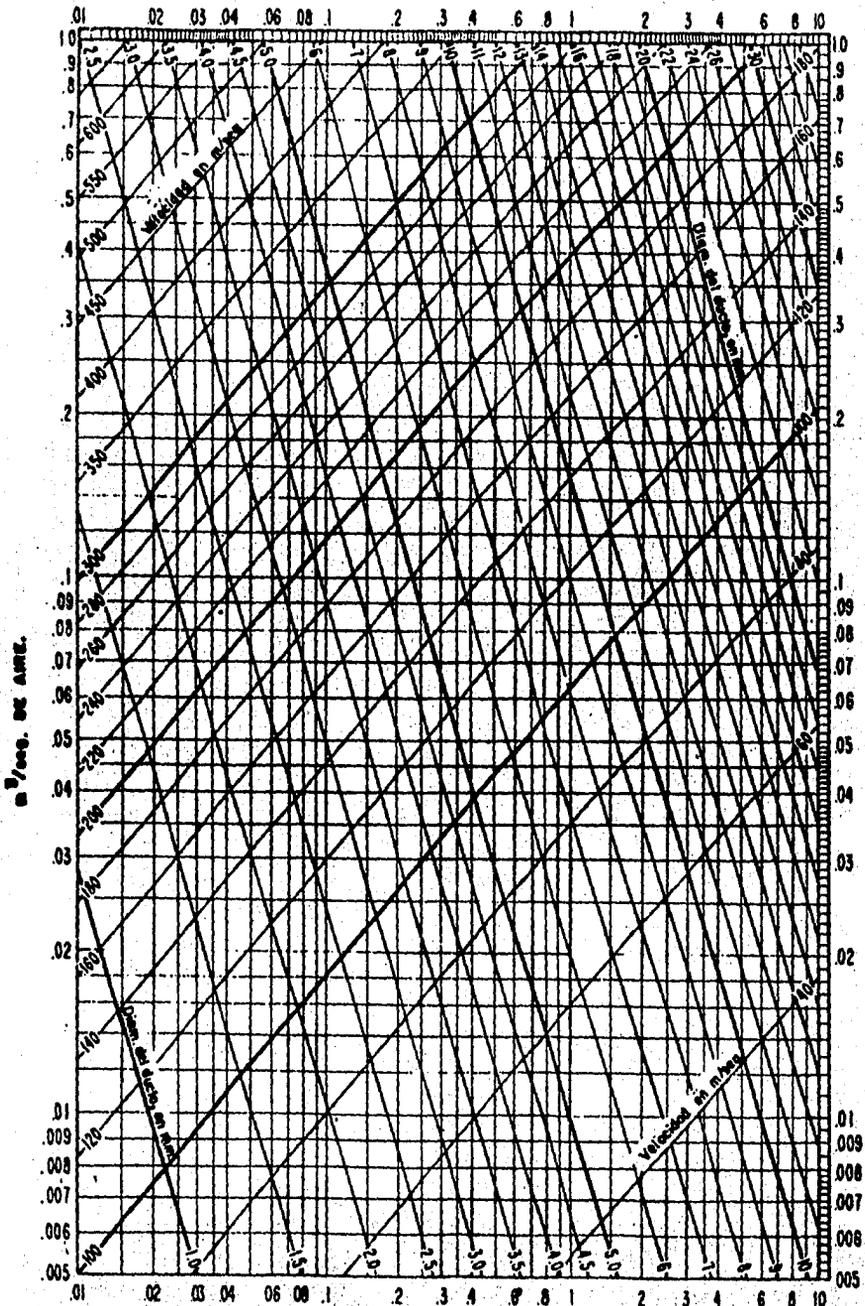
(*) PARA ANGULO DE 60º _____ x 0.67

PARA ANGULO DE 45º _____ x 0.5

PARA ANGULO DE 30º _____ x 0.33

FUENTE: Referencia 5 de la Bibliografía.

FIGURA A-5. - PERDIDAS POR FRICCIÓN EN DUCTOS Y TUBERIAS. EN mm de c. a. POR CADA METRO.



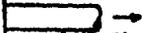
PERDIDAS POR FRICCIÓN EN mm de c.c./m.

FUENTE: Referencia 5 de la Bibliografía.

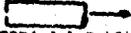
FIGURA A-6. - PERDIDAS DE PRESION A LA ENTRADA DE CAMPANAS.



$h_e = 0.93R_d$
EXTREMO DE DUCTO
SENCILLO
 $C_e = 0.72$



$h_e = 0.49 R_d$
EXTREMO DE UN DUCTO
CON REBORDE
 $C_e = 1.82$



$h_e = 1.78R_d$ del Orificio
ORIFICIO BORDEADO Y AFILADO
 $C_e = 0.60$



$h_e = 2.3R_d$ en el ducto
(Cuando la velocidad en el
ducto = velocidad en la -
ranura)
 $1.78R_d$ del orificio + 0.49
 R_d en el ducto.
ORIFICIO MAS DUCTO BORDEADO
(para muchos tipos de ranuras)
 $C_e = 0.55$ (cuando la velo-
cidad en el ducto =
velocidad en la ranura)



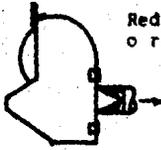
$h_e = 0.5 R_d$
DUCTO SALIENTE
 $C_e = 0.82$



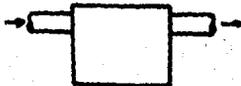
$h_e = 0.06R_d$ a $0.10R_d$
SALIDA REDONDEADA DE UN
DUCTO SALIENTE.
 $C_e = 0.97$



★	PERDIDAS A LA ENTRADA		COEFICIENTE DE ENTRADA	
	REDONDA	RECTANGULAR	REDONDA	RECTANGULAR
15º	0.15R _d	0.25R _d	0.93	0.89
30º	0.08R _d	0.16R _d	0.96	0.93
45º	0.06R _d	0.15R _d	0.97	0.93
60º	0.08R _d	0.17R _d	0.96	0.92
90º	0.15R _d	0.25R _d	0.93	0.89
120º	0.26R _d	0.35R _d	0.89	0.86
150º	0.40R _d	0.48R _d	0.84	0.82



Redonda, cuadrada
o ranurada.
 $h_e = 0.65R_d$
CAMPANA PARA ESMERILADOR
ESTANDAR
 $C_e = 0.78$



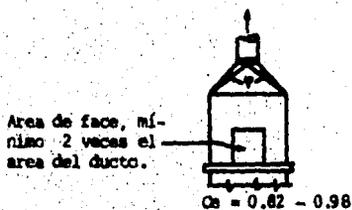
$h_e = 1.5R_d$
TRAMPA O CAMARA DE ASENTA-
MIENTO.
 $C_e = 0.63$ (aprox.)



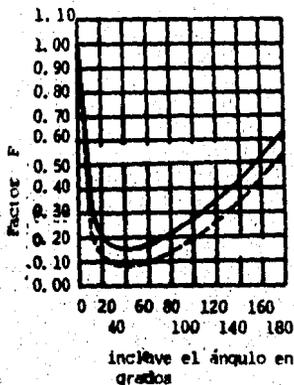
Ranura
 $h_e = 1.0R_d$
CAMPANA DOBLE (Cono
interno)
 $C_e = 0.7$ (aprox.)

FUENTE: Referencia 5 de la Bibliografía.

FIGURA A-6.- PERDIDA DE PRESION A LA ENTRADA DE CAMPANA (CONTINUACION).



Bordeada o no-bordeada; redonda, cuadrada o rectangular. ψ es el ángulo mayor sobre las campanas rectangulares.



$$h_e = \frac{1 - C_s^2}{C_s^2} \times R_d ; \quad F = \frac{1 - C_s^2}{C_s^2} ; \quad h_e = F \times R_d$$

Pérdidas a la entrada para campanas de tipo complicado

- 1.- Dividir la campana en componentes simples
- 2.- Calcular h_e para cada componente
- 3.- Sumar los valores de h_e .

VALORES VARIOS

CAMPANA	PERDIDAS A LA ENTRADA, F
Cámara de soplado abrasivo	1.0
Elevador de soplado abrasivo.	2.3
Separador abrasivo	2.3
Elevadores (confinados)	0.69
Tubo bordeado mas codos cerrados	0.8
Tubo sencillo mas codo cerrado	1.60
Molinos (Varía con el diseño del molino)	Prom. 2.0

FUENTE: Referencia 5 de la Bibliografía.

TABLA A-1.- EQUIVALENCIAS ENTRE LAS UNIDADES MAS IMPORTANTES.

LONGITUD

1 pie (ft) = 12 pulg. (in) = 0.3048 m.

1 pulg. = 2.54 cm = 25.4 mm.

1 micra (μ) = 0.0001 cm.

SUPERFICIE

1 pie cuadrado (ft²) = 0.09290 m² = 144 in².

VOLUMEN

1 pie cúbico (ft³) = 0.02832 m³

1 m³ = 1000 litros (l).

1 litro (l) = 1000 cm³

1 galón (gln) = 3.785 litros..

MASA

1 libra (lb) = 0.454 Kg.

1 Kg = 1000 g.

1 Kg = 1 000 000 mg

1 grano (gr) = 0.0648 g.

PRESION

1 mm de c.a. = 1 Kg/m²

1 mm de Hg = 13.6 mm de c.a.

1 pulg. de c.a. = 25.4 mm de c.a.

1 lb/in² (psi) = 703 Kg/m²

1 atm. = 760 mm de Hg.

1 pulg. de c.a. = 1.868 mm de Hg.

TABLA A-1.- EQUIVALENCIAS ENTRE UNIDADES MAS IMPORTANTES
(CONTINUACION).

POTENCIA, TRABAJO Y CALOR.

$$1 \text{ BTU} = 0.252 \text{ Kcal.}$$

$$1 \text{ Kilocaloria (Kcal)} = 1\,000 \text{ cal.}$$

$$1 \text{ H.P.} = 0.746 \text{ Kw.}$$

TEMPERATURA

$$\text{°K} = \text{°C} + 273$$

$$\text{°C} = \text{°F} - 32$$

$$1.8$$

$$\text{°R} = \text{°F} + 460.$$

TABLA A-2. - PORCIENTO DEL DIAMETRO DEL CONDUCTO DESDE LA PARED INTERIOR HASTA EL PUNTO TRANSVERSAL.

No. del punto
transversal -
sobre un diá-
metro.

Número de puntos transversales sobre un diámetro.

	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
1	4.4	3.3	2.5	2.1	1.8	1.6	1.4	1.3	1.1	1.1
2	14.7	10.5	8.2	6.7	5.7	4.9	4.4	3.9	3.5	3.2
3	29.5	19.4	14.6	11.8	9.9	8.5	7.5	6.7	6.0	5.5
4	70.5	32.3	22.6	17.7	14.6	12.5	10.9	9.7	8.7	7.9
5	85.3	67.7	34.2	25.0	20.1	16.9	14.6	12.9	11.6	10.5
6	96.6	80.6	65.8	35.5	26.9	22.0	18.8	16.5	14.6	13.2
7		89.5	77.4	64.5	36.6	28.3	23.6	20.4	18.0	16.1
8		96.7	85.4	75.0	63.4	37.5	29.6	25.0	21.8	19.4
9			91.8	82.3	73.1	62.5	38.2	30.6	26.1	23.0
10			97.5	88.2	79.9	71.7	61.8	38.8	31.5	27.2
11				93.3	85.4	78.0	70.4	61.2	39.3	32.3
12				97.9	90.1	83.1	76.4	69.4	60.7	39.8
13					94.3	87.5	81.2	75.0	68.5	60.2
14					98.2	91.5	85.4	79.6	73.9	67.7
15						95.1	89.1	83.5	78.2	72.8
16						98.4	92.5	87.1	82.0	77.0
17							95.6	90.3	85.4	80.6
18							98.6	93.3	88.4	83.9
19								96.1	91.3	86.8
20								98.7	94.0	89.5
21									96.5	92.1
22									98.9	94.5
23										96.8
24										98.9

FUENTE: Referencia 15 de la Bibliografía.

TABLA A-3. -ALGORITMO DE CALCULO PARA LA INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS DEL MUESTREO ISOCINETICO.

1.- Volumen de agua como gas a STP (Vwc)

$$V_{wc} = 0.00134 V_{H_2O}$$

2.- Volumen másico muestreado a condiciones estandar (Vmc):

$$V_{mc} = 0.3867 V_m Y' \left(\frac{P_{bar.} + \Delta H'}{T_m} \right)$$

3.- Contenido de humedad en la chimenea (Bwc):

$$B_{wc} = \frac{V_{wc}}{V_{wc} + V_{mc}} \times 100$$

4.- Análisis del gas en la chimenea:

%CO₂

%O₂

%CO

%SO₂

Total %

$$100 - \text{Total \%} = \% N_2$$

5.- Peso molecular seco (Md):

$$M_d = 0.01 \times (PM_{CO_2} \times \%CO_2 + PM_{O_2} \times \%O_2 + PM_{CO} \times \%CO + PM_{N_2} \times \%N_2 + PM_{SO_2} \times \%SO_2).$$

6.- Peso molecular en la chimenea (Ms):

$$M_s = 0.18 B_{wc} + (M_d/100)(100 - B_{wc}).$$

7.- Velocidad promedio en la chimenea (Vs).

$$V_s = 128.92 C_p \sqrt{P_d(T_s/(P_s M_s))}.$$

8.- Area de la chimenea (As):

9.- Flujo volumétrico en la chimenea, a condiciones de trabajo (Qsw):

$$Q_{sa} = 3600 A_s V_s.$$

FUENTE: Referencia 19 de la Bibliografía.

10. - Flujo volumétrico en la chimenea a condiciones estandar y húmedas (Qsw): $Q_{sw} = 0.392 (P_s/T_s)(Q_{sa})$.

11. - Flujo volumétrico en la chimenea a condiciones estandar y secas (Qsd):

$$Q_{sd} = \frac{100 - B_{wc}}{100} \times Q_{sw}$$

12. - Diámetro de la boquilla (Dn)

Area de la boquilla (Sn): $S_n = \pi D_n^2 / 4$

13. - Variación isocinética (I).

$$I = \frac{T_s V_m (P_{bar} + H')}{V_s \phi P_s S_n T_m} \times 100$$

14. - Masa de partículas colectadas en el filtro (Mf).

15. - Masa de partículas colectadas en el ciclón y demás conexiones (Mcx).

16. - Masa total de partículas colectadas (Mn).

17. - Porcentaje de partículas colectadas en el filtro:

$$(M_f/M_n) \times 100.$$

18. - Emisión de partículas a la salida de la chimenea (Cs):

$$C_s = 0.00103 (m_n/V_{mc})(Q_{sd});$$

19. - Emisión de partículas máxima permisible (E):

$$E = 100.864 P^{0.11} - 72.56$$

20. - Cálculo de las emisiones de SO₂, SO₃ y neblinas de H₂SO₄:

20.1. - Para SO₂:

$$M_1 = P. eq. 1 \times N \times V_1 \times F_1 \times 10^{-3}$$

$$V_1 = V_{SO_2} - V_{BSO_2}$$

$$C_1 = (M_1/V_m)$$

$$E_1 = C_1 \times Q_{sd} \times 10^{-3}$$

20.2. - Para SO₃ más neblinas de H₂SO₄:

$$M_2 = P. eq. 2 \times N \times V_2 \times F_2 \times 10^{-3}$$

$$V_2 = V_{SO_3} - V_{BSO_3}$$

$$C_2 = (M_2/V_m)$$

$$E_2 = C_2 \times Q_{sd} \times 10^{-3}$$

FUENTE: Referencia 19 de la Bibliografía.

TABLA A-4.- PRESION DINAMICA PARA DIFERENTES VELOCIDADES
 PARA AIRE A T= 25°C y Pbar. = 586 mm de Hg.

$$DE: Pd = \frac{Vs^2}{2g} = 0.92 \text{ Kg/m}^3$$

Vs (m/seg)	Pd (mm de c.a.)	Vs (m/seg)	Pd (mm de c.a.)
0.5	0.012	21	20.679
1.0	0.047	22	22.695
2.0	0.188	23	24.805
3.0	0.422	24	27.009
4.0	0.750	25	29.307
5.0	1.172	26	31.698
6.0	1.688	27	34.183
7.0	2.298	28	36.762
8.0	3.001	29	39.435
9.0	3.798	30	42.202
10.0	4.689	31	45.062
11.0	5.674	32	48.016
12.0	6.752	33	51.064
13.0	7.925	34	54.206
14.0	9.191	35	57.441
15.0	10.550	36	60.771
16.0	12.004	37	64.194
17.0	13.551	38	67.710
18.0	15.193	39	71.325
19.0	16.928	40	75.025
20.0	18.756		

TABLA A-5 .- FACTORES PARA EL CALCULO DE LA RELACION DE FILTRACION.

R.f. = $18.288 \times A \times B \times C \times D \times E$ (en m³/hr/m² de tela filtrante)

FACTOR A:

15	12	10
Mezcla pastelería	Asbestos	Aluminio
Polvo de cartón	Polvo mate	Aspirina
Cacao	Material fibroso y celulosa	Negro de humo (acabado)
Concentrados para animales.	Residuo de fundición.	Cemento
Harina	Yeso	Pigmentos de cerámica (*)
Granos	Sosa caústica	Arcilla y polvillo de ladrillos.
Polvo de cueros	Perlita	Carbón
Aserrín	Químicos del caucho.	Feldespato
Tabaco	Sal	Chicle natural
	Arena	Caolín
	Polvo de Arenillas	Carbonatos
	Cenizas de soda	Percloratos
	Talco.	Polvo de cantara
		Minerales y aluviones
		Sílica
		Acido sórbico
		Azúcar
9		6(**)
Fertilizante de fosfatos de amonio		Carbón activado
Amoniaco		Negro de humo (molecular)
Coque		Humos y otros productos dispersos, resultantes directos de reacciones.
Tierra diatomacea		Leche en polvo
Petroquímicos secos		Jabones.
Tinturas		
Ceniza dispersa		
Polvo metálico		
Oxido metálico		
Pigmentos metálicos y sintéticos		
Plásticos		
Resinas		
Silicatos		
Almidones		
Estearatos		
Acido tánico		

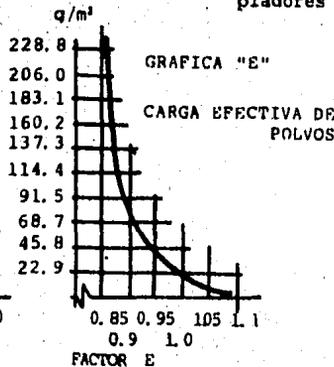
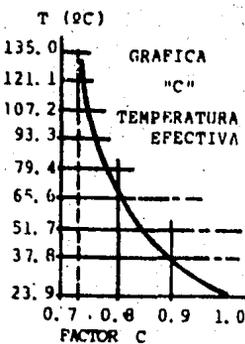
FUENTE: Referencia 18 de la Bibliografía.

TABLA A-5.- FACTORES PARA EL CALCULO DE LA RELACION DE FILTRACION (CONTINUACION).

TABLA "B"	
USO/APLICACION	FACTOR B
RECOLECCION DE DESPERDICIOS	
Descarga o alivio en puntos de transferencia, transportadores, lugares de empaque, etc.	1.0
RECOLECCION DE PRODUCTO	
Transporte neumático de molinos, secadores de dispersión, clasificadores, etc.	0.9
FILTRACION DE GASES DE PROCESO	
Secadores de dispersión, secadores de calor, etc.	0.8

TABLA "D"	
FINURA	FACTOR D
Más de 100 micras	1.2
50 a 100 micras	1.1
10 a 50 micras	1.0
3 a 10 micras	0.9
Menos de 3 micras	0.8

- (*) Materiales física y químicamente estables en general.
- (**) Incluye también aquellos sólidos que en su estado físico o químico son inestables a causa de su naturaleza higroscópica, sublimación y/o sublimación.
- La GRAFICA C, muestra el efecto de la temperatura.
- La GRAFICA E, muestra el efecto de la carga de polvo, e indica la curva típica del comportamiento de un colector con limpieza a base de chorro de impulso o de anillos limpiadores sopladores.



FUENTE: Referencia 18 de la Bibliografía.

TABLA A-6.-FACTORES DE CORRECCION PADA PODER USAR LA CURVA DE OPERACION DEL VENTILADOR.

FACTOR DE CORRECCION DE LA DENSIDAD POR TEMPERATURA Y ELEVACION.

DENSIDAD CORREGIDA = Factor densidad (F.d.) x 1.2

DENSIDAD DEL AIRE SECO A 21°C y NIVEL DEL MAR = 1.2 Kg/m³.

De la fórmula:

$$F. d = P_2 / 1.2 = 0.387 P_2 / T_2 \quad (^\circ) \text{ Condiciones de trabajo.}$$

TEMP (°C)	ALTURA EN METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR										
	0	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500
0	1.08	1.05	1.02	0.99	0.96	0.93	0.90	0.87	0.85	0.81	0.79
21	1.00	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.81	0.78	0.76	0.73
50	0.91	0.88	0.86	0.83	0.81	0.78	0.76	0.74	0.71	0.69	0.67
75	0.84	0.82	0.80	0.77	0.75	0.73	0.71	0.68	0.66	0.64	0.62
100	0.79	0.77	0.74	0.72	0.70	0.68	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58
125	0.74	0.72	0.70	0.68	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54
150	0.69	0.67	0.65	0.64	0.62	0.60	0.58	0.56	0.55	0.52	0.51
175	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58	0.56	0.55	0.53	0.51	0.50	0.48
200	0.62	0.60	0.59	0.57	0.55	0.53	0.52	0.50	0.49	0.47	0.45
225	0.59	0.57	0.56	0.54	0.52	0.51	0.49	0.48	0.46	0.45	0.43
250	0.56	0.55	0.53	0.51	0.50	0.48	0.47	0.45	0.44	0.42	0.41
275	0.54	0.52	0.51	0.49	0.48	0.46	0.45	0.43	0.42	0.40	0.39
300	0.51	0.50	0.48	0.47	0.45	0.44	0.43	0.42	0.40	0.39	0.38
325	0.49	0.48	0.46	0.45	0.44	0.42	0.41	0.40	0.39	0.37	0.36
350	0.47	0.46	0.44	0.43	0.42	0.41	0.39	0.38	0.37	0.36	0.34
375	0.45	0.44	0.43	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.34	0.33
400	0.44	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32
425	0.42	0.41	0.40	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31
450	0.41	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30
475	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29
500	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28

LISTA DE SIMBOLOS

- As = Area transversal del ducto o chimenea, en m².
- A-l = No. de diámetros del conducto, en contra del sentido del flujo.
- Ab = Area de filtrado de cada bolsa en m².
- B = Ancho interno del conducto, en m.
- B-l = No. de diámetros del conducto en el sentido del flujo
- b = Ancho de la boca de entrada al ciclón, en m.
- Bwc = Porcentaje de humedad, en %.
- C = Factor de calibración del tubo de pitot portátil = 0.85
- Cs = Concentración del gas o partículas, en el conducto o chimenea, en mg/m³.
- C_A = Capacidad calorífica de la corriente A, en Kcal/Kg. °C
- C_B = Capacidad calorífica de la corriente B, en Kcal/Kg. °C
- C_C = Capacidad calorífica de la corriente C, en Kcal/Kg. °C
- C_p = Factor de calibración del tubo de pitot de la sonda = 0.825.
- C'_p = Capacidad calorífica de la corriente gaseosa, en Kcal/Kg °C.
- C'_{pg} = Capacidad calorífica del gas (aire), en Kcal/Kg °C.
- C'_{pv} = Capacidad calorífica del vapor (agua), en Kcal/Kg °C.
- D = Diámetro equivalente del conducto, en m.
- D_{eq.} = Diámetro equivalente del conducto, en m.
- D_n = Diámetro de la boquilla de muestreo, en m.
- D_p = Diámetro de partícula. en m. μ .
- D_{p50} = Diámetro de partículas que son colectadas con un 50% de eficiencia. en m. μ .
- E = Emisión de gases o partículas contaminantes en la fuente, en Kg/hr.
- F = Factor de aforo.
- gc = Factor de conversión fuerza-masa = 9.81 Kg m/ Kg_f seg².
- ΔH' = Caída de presión a través del orificio en mm de Hg.
- I = Coeficiente de variación isocinética, en % (aceptable entre 90 y 110%).
- k = Número de puntos de prueba en una corrida.
- L = Largo de la sección interna del ducto, en m.
- lb = Longitud de la bolsa filtrante, en m.

- Mf = Masa de polvo colectada en el filtro, en g.
- Mcx = Masa de polvo colectada en el ciclón y demás conexiones, en g.
- Mn = Masa total de polvo colectado, en g.
- M₁ = Masa de SO₂ en g.
- M₂ = Masa de SO₃ en g.
- Ms = Peso molecular promedio en el ducto o chimenea, en g/gmol.
- Md = Peso molecular seco en el conducto o chimenea, en g/gmol.
- M_{SO₂} = Peso molecular del SO₂ = 64 g/gmol.
- M_{SO₃} = Peso molecular del SO₃ = 80 g/gmol.
- N = Número de puntos de prueba.
- Ne = Número de vueltas del gas en el ciclón.
- P = Peso del proceso, en ton/hr.
- Pd = Presión dinámica de los gases, en mm de c. a.
- P. est. = Presión estática de los gases. en mm de c. a.
- Psm = Presión manométrica de los gases en el conducto, en mm de c. a.
- Ps = Presión absoluta de los gases en el conducto o chimenea, en mm de Hg.
- P bar. = Presión barométrica del lugar = 586 mm de Hg.
- P. eq. del SO₂ = Peso equivalente del SO₂ = 32 g/eq.
- P. eq. del SO₃ = Peso equivalente del SO₃ = 49 g/eq.
- ppm = Partes por millón.
- pH = Potencial de hidrógeno = - log [H⁺]
- Qsa = Flujo volumétrico a condiciones de trabajo, en Am³/hr.
- Qsw = Flujo volumétrico a condiciones normales (273 K y 760 mm de Hg) y húmedas, en Nm³/hr.
- Qsd = Flujo volumétrico a condiciones normales y secas, en Nm³/hr.
- R = Distancia del centro del conducto al enésimo punto de prueba, en m.
- R. f. = Relación de filtración. en m/hr.
- Sn = Area transversal de la boquilla de muestreo. en m².
- T_A = Temperatura de la corriente A. en K
- T_B = Temperatura de la corriente B. en K
- T_C = Temperatura de la corriente C. en K.
- Tm = Temperatura promedio en el medidor seco de gases, en K
- Tmi = Temperatura a la entrada al medidor seco. en K
- Tmf = Temperatura a la salida del medidor seco. en K

- T_{si} = Temperatura inicial de los gases en el ducto o chimenea. en K
- T_{sf} = Temperatura final de los gases en el conducto o chimenea. en K.
- T_s = Temperatura promedio de los gases en el conducto o chimenea. en K
- V_{mc} = Volumen másico a condiciones normales, en m³ secos.
- V_{wc} = Volumen en forma de vapor. en m³ húmedos.
- V_{H_2O} = Volumen de agua colectada en los burbujeadores. en ml.
- V_s = Velocidad promedio de los gases en el ducto o chimenea, en m/seg.
- V_{SO_2} = Volumen de hidróxido de sodio (NaOH), gastado por la solución de peróxido de hidrógeno. en ml.
- V_{BSO_2} = Volumen de NaOH gastado por el blanco, en ml.
- V_{SO_2} = Volumen de NaOH gastado por la solución de isopropanol. en ml.
- V_{BSO_2} = Volumen de NaOH gastado por el blanco, en ml.
- V_i = Velocidad de los gases a la entrada al ciclón, en m/seg.
- W = Flujo másico. en Kg/hr.
- W_A = Flujo másico de la corriente A. en Kg/hr.
- W_B = Flujo másico de la corriente B. en Kg/hr.
- W_C = Flujo másico de la corriente C. en Kg/hr.
- x = Distancia de la pared interna del ducto al punto de prueba, en cm.
- Y' = Factor de calibración del orificio de la unidad de muestreo = 0.9
- Y = Humedad de la corriente gaseosa, en Kg de vapor/Kg de Aire seco.
- Y_A = Humedad de la corriente A, en Kg. de vapor/Kg de A.S.
- Y_B = Humedad de la corriente B, en Kg de vapor/Kg de A.S.
- Y_C = Humedad de la corriente C. en Kg de vapor/Kg de A.S.
- z = Enésimo punto de prueba
- ΔH = Entalpía de la corriente gaseosa, en Kcal/Kg.
- ΔH_A = Entalpía de la corriente A. en Kcal/Kg.

ΔH_B = Entalpía de la corriente B, en Kcal/Kg.

ΔH_C = Entalpía de la corriente C. en Kcal/Kg.

θ = Tiempo total de muestreo, en min.

λ_0 = Calor latente de vaporización a la temperatura de referencia (Temperatura de referencia = 0 °C). = 592.2 Kcal/Kg de vapor.

$[H^+]$ = Concentración de iones hidrógeno en la solución, en mg/lt.

η = Viscosidad del gas, en Kg/m seg.

ρ_p = Densidad de la partícula, en Kg/m³.

ρ_g = Densidad de la corriente gaseosa. en Kg/m³.

ρ_{sa} = Densidad de la corriente gaseosa a condiciones de trabajo, en Kg/m³.

ρ_{sw} = Densidad de la corriente gaseosa a condiciones normales y húmedas. en Kg/m³.

ρ_{sn} = Densidad de la corriente gaseosa en el ducto o chimenea a condiciones normales, en Kg/m³.

ρ_r = Densidad de la resina. en Kg/m³.

ϕ_b = Diámetro de la bolsa filtrante, en m.

μ

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- LA LUCHA CONTRA EL POLVO EN LA INDUSTRIA
V.M. Massuet Gran
Pags. 59 y 60
Ediciones Cedel
Barcelona España, 1969
- 2.- ASFALTOS.
M. Velázquez
Pags. 37 a 53 y 63 a 70
Editorial Dossat, S.A.
Madrid España, 1961
- 3.- EL ASFALTO, SU COMPOSICION, PROPIEDADES Y USOS.
Ralph N. Taxler
Pags.: 130 a 143
19va. Edición en Español
Cia. Editorial Continental, S.A.
México, D.F., 1962
- 4.- AIR POLLUTION ENGINEERING MANUAL
U.S. Environmental Protection Agency
Second Edition
Compiled and Edited by John A. Danielson
Pages: 11 a 18, 25 a 27, 43 a 59, 91 a 97,
99 a 108, 325 a 333 y 535 a 553.
Research Triangle Park.
North Carolina, U.S.A.; 1973.
- 5.- INDUSTRIAL VENTILATION
American Conference of Governmental
Industrial Hygienists
17th. Edition
Pages: 1-1 a 1-5 y 6-1 a 6-42.
Lansing Michigan, U.S.A, 1982.
- 6.- ASPHAL PLANTS HANDBOOK
The Asphalt Institute
3va. Edition,
Pages: 8 a 58
Manual Series No. 3 (MS-3)
Maryland, U.S.A., March 1982.
- 7.- DATOS TECNICOS DE PRODUCTOS ELABORADOS
POR LA PLANTA DE ASFALTO DEL D.D.F.
Diciembre de 1975.

- 8.- CHEMICAL ENGINEERING HANDBOOK
R.H. Perry and C.H. Chilton
Fifth Edition
Pages: 3-69, 3-210 y 8-17 a 8-25
MacGraw-Hill Company
- 9.- INDUSTRIAL EXHAUSTERS
Buffalo Force Company
Bulletin Number Fl-112C; 1977
- 10.- MANUAL DE VENTILADORES CENTRIFUGOS
Estándares de Fläkt, S.F. de México, S.A.
Pags.: 72, 81, 88, 102 y 118
México, D.F., 1975.
- 11.- AIR POLLUTION
Henry C. Perkins
Pages: 260 a 282
MacGraw-Hill Company
1974
- 12.- LEY FEDERAL DE PROTECCION AL MEDIO AMBIENTE
Diario Oficial del 27 de enero de 1984.
- 13.- REGLAMENTO PARA LA PREVENCION Y CONTROL DE LA CONTAMI-
NACION ATMOSFERICA ORIGINADA POR LA EMISION DE
HUMOS Y POLVOS.
Diario Oficial del 17 de febrero de 1971
- 14.- CATALOGO: NORMAS OFICIALES MEXICANAS (NOM)
Dirección General de Normas.
Secretaría de Fomento y Patrimonio Industrial, 1982.
- 15.- NOM-AA-09-1973: "Determinación del Flujo de Gases en
un Conducto por medio del Tubo de
Pitot".
- 16.- NOM-AA-10-1974: "Determinación de la Emisión de Partí-
culas Sólidas contenidas en los Gases
que se descargan por un Conducto".
- 17.- NOM-AA-56-1979: "Determinación del Bióxido de Azufre,
Trióxido de Azufre y Neblinas de Aci-
do Sulfúrico en los Gases que fluyen
por un Conducto.
- 18.- Bulletin PC-4: Mickropul Corporation; U.S.F. 1981
Chaphan Road; Summit, N.J.
07901, U.S.A.
- 19.- Standard of Performance for Nationary Source
U.S. Enviromental Protection Agency; Office Enforcement.
EPA-340-1-80-00-1A. Julio-1980.