

27
2ej

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



**EQUIPO DE MUESTREO MANUAL Y PORTATIL
PARA LA DETERMINACION DE MATERIAL
PARTICULADO EN CONDUCTOS Y
CHIMENEAS**

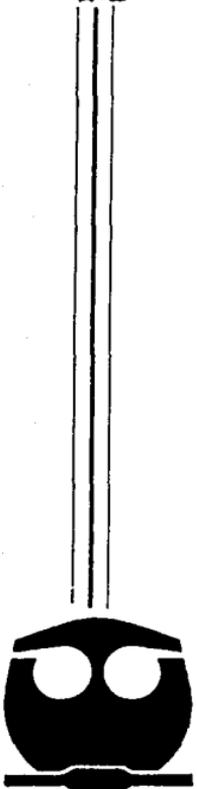
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERIA QUIMICA

P R E S E N T A :

JACQUELINE DE LA CRUZ MENDOZA



MEXICO, D. F.

1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

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

	PAGINA
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
MARCO LEGAL	14
CAPITULO II	
FUNDAMENTOS TEORICOS	
A. DETERMINACION DEL VOLUMEN, TEMPERATURA, PRESION Y DENSIDAD DE UN GAS	17
B. DETERMINACION DE LA PRESION EN UN CONDUCTO O CHIMENEA ..	21
C. DETERMINACION DEL FLUJO DE UN GAS	23
D. CONCEPTOS DE PRESION	31
CAPITULO III	
DESCRIPCION DEL EQUIPO QUE SE UTILIZA PARA LA DETERMINACION DE EMISIONES A LA ATMOSFERA PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS	
A. SONDA DE MUESTREO	36
1. SONDA	
2. BOQUILLA	
B. SECCION DE COLECCION.....	38
1. PORTAFILTRO	
2. MEDIO FILTRANTE	

3. CONDENSADOR	
C. MEDICION Y CONTROL DEL FLUJO	
1. DISPOSITIVOS PARA MEDIR EL VOLUMEN	
DE UN GAS A MUESTREAR	41
2. DISPOSITIVOS PARA MEDIR LA VELOCIDAD	
DE UN GAS A MUESTREAR	42
3. DISPOSITIVOS PARA MEDIR EL FLUJO	
DE UN GAS A MUESTREAR	50
4. INDICADORES DE PRESION	56
5. INDICADORES DE TEMPERATURA	59
D. FUENTE DE SUCCION	61
SELECCION Y ARREGLO DEL EQUIPO PILOTO	62
COSTO DEL EQUIPO PILOTO	72

CAPITULO IV

CALIBRACION DEL EQUIPO PILOTO

A. CALIBRACION DEL TUBO PITOT	78
B. CALIBRACION DE LAS BOQUILLAS	83
C. CALIBRACION DEL ROTANETRO	85

CAPITULO V

MANUAL Y PRUEBA DE OPERACION DEL EQUIPO PILOTO

A. ENSAMBLE DE LA UNIDAD DE MUESTREO	91
B. ENSAMBLE DE LA UNIDAD DE CONDENSACION	91
C. ARMADO DEL TREN DE MUESTREO	92

D. REVISION DE INFILTRACIONES	93
E. PRUEBA DE OPERACION DEL EQUIPO PILOTO PARA DETERMINAR SU EFICIENCIA , CAPACIDAD Y CONFIABILIDAD.	94
PROCEDIMIENTO	95
EJECUCION DE LA PRUEBA	97
MEMORIA DE CALCULO	103
RESULTADOS DE LA EVALUACION	115
CONCLUSIONES	116
BIBLIOGRAFIA	123

INTRODUCCION

La contaminación atmosférica, se puede definir como las emisiones a la atmósfera de corrientes gaseosas que contienen uno o más contaminantes, como polvos, neblina o vapores en una concentración tal que es nociva para el hombre, animales o plantas.

Gran número de contaminantes como partículas, óxidos metálicos, vapores, etc., son descargados a la atmósfera.

El control de la contaminación no sólo es un problema de las áreas metropolitanas, también de aquellas áreas rurales que se encuentran próximas a áreas industriales o que por su situación topográfica tienen problemas de contaminación. Consecuentemente existe una gran urgencia por controlar la contaminación.

En la actualidad la legislación en este aspecto es cada día más rigurosa, estableciendo normas específicas para su control.

Con la finalidad de llevar a cabo un buen control de la contaminación es necesario conocer los contaminantes del aire, agua, ruido y residuos sólidos; el grado con que contaminan, su extensión y si estos están incrementándose, decreciendo o permanecen constantes.

Para facilitar el estudio de los contaminantes, estos se clasifican en dos:

1. Contaminantes primarios : Son aquellos que se emiten a la atmósfera directamente por fuentes específicas.
2. Contaminantes secundarios : Estos se derivan de reacciones de contaminantes primarios, es decir, aquellos contaminantes emitidos a la atmósfera que al combinarse con otros contaminantes o elementos que son propios de la atmósfera, o bien por la acción de la luz se producen.

Estas reacciones pueden ser entre especies gaseosas y superficies catalíticas, reacciones de absorción gaseosa, en la superficie de partículas, reacciones gaseosas con líquidos, etc.

Otra clasificación más específica de los contaminantes del aire esta en función de las fuentes de emisión de los contaminantes; esta se presenta en la TABLA 1.1.

El material particulado se refiere a pequeñas gotas dispersas de líquidos o partículas sólidas, las cuales puede tener cantidades significativas de gases adsorbidos o absorbidos.

El material particulado se puede clasificar según el diámetro de partícula tal como se muestra en la la TABLA 1.2 y que a continuación se definen:

AEROSOLES : Son dispersiones de partículas en un medio gaseoso, ya sea que se encuentren en estado sólido o líquido. Estas partículas son lo suficientemente pequeñas como para mantenerse suspendidas en la atmósfera.

Los **POLVOS** : Generalmente son aquellas partículas sólidas cuyo diámetro se encuentra dentro de las micras (μ).

VAPORES : Son aquellas partículas que se forman por condensaciones, sublimaciones o reacciones químicas. Generalmente son hidrocarburos en fase gaseosa, que se derivan del procesamiento de solventes.

Las **NEBLINAS** son partículas de líquido disperso cuyo diámetro generalmente es menor a 50μ .

Los **HUMOS** son una combinación de partículas de carbono y pequeñas gotas de líquido que generalmente resultan de las combustiones incompletas.

Los **GASES** se encuentran entre 0.002μ de diámetro y son los compuestos tales como bióxidos de azufre, metano, amonía, etc.

TABLA 1.1
CLASIFICACION DE LOS CONTAMINANTES
SEGUN LA FUENTE DE EMISION

1. NATURALES

- ERUCCIONES VOLCANICAS
- ARRASTRE EOLICO
- DESCOMPOSICION DE MATERIA ORGANICA
- ESPRIADO MARINO
- INCENDIOS FORESTALES

2. ANTROPOGENICAS

- TRANSPORTACION
- PROCESOS INDUSTRIALES
- GENERACION DE ENRGIA ELECTRICA
- QUEMA DE COMBUSTIBLE EN LA INDUSTRIA Y SERVICIOS
- ACTIVIDADES AGRICOLAS
- EXTRACCION DE RECURSOS

TABLA 1.2
 CLASIFICACION DEL MATERIAL PARICULADO
 SEGUN SU DIAMETRO EN MICRAS (μ)

0.01	0.1	1	10	100	1000	10,000
	NEBLINA				AEROSOLES	
			POLVO			
ESMOG ...	NUBES Y NEBLINA		...LLOVIZNA		...LLUVIA	
	HUMO DE TABACO				CABELLO HUMANO	

Para la detección, eliminación y control de gases, humos y vapores o bien con la finalidad de evaluar la eficiencia de un dispositivo de control o colección de contaminantes tanto gaseosos como sólidos; se requiere de un análisis de las emisiones, ya sea mediante métodos analíticos, pruebas, estudios, o un muestreo apropiado, con un método y equipo de colección adecuado.

Este documento está enfocado en particular a el equipo utilizado para evaluar las emisiones de contaminantes a la atmósfera y más específicamente al material particulado emitido por conductos o chimeneas, las principales fuentes se enumeran en la TABLA 1.3 y, el intervalo de concentración típica de algunos contaminantes para estudios de la calidad del aire en la TABLA 1.4 .

El objetivo de la presente tesis es que con la experiencia en campo, de las diferentes fuentes fijas que se han muestreado se seleccione un equipo (tren de muestreo) para determinar contaminantes emitidos por fuentes fijas (conductos y chimeneas), en una primera instancia este equipo será para determinar material particulado y si las características de este lo permiten se podrá utilizar para la determinación de gases ; la diferencia de este con los que ya existentes es que su tamaño será menor, pero cumpliendo en lo posible con las Normas Oficiales Mexicanas y extranjeras.

El equipo piloto podrá ser utilizado en estudios de ingeniería, para la obtención de resultados rápidos con la que se tenga una idea de las emisiones, ya sea para establecer la eficiencia de los equipos que se encuentran en operación o en el caso de que aún no existan, este sirva para seleccionar los dispositivos más adecuados que controlen o disminuyan la concentración de las emisiones contaminantes.

TABLA 1.3

FUENTES Y SUMIDEROS DE LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL AIRE

Contaminante	Fuente Antropogénica Principal	Fuente Natural	Tiempo de Residencia	% Originado por el hombre.
SO ₂	Combustión de combustibles fósiles	Erupciones volcánicas.	Oxidación a SO ₂ Lavado por la lluvia (4 días)	100
H S 2	Industrias químicas. Plantas de tratamiento de aguas negras.	Erupciones volcánicas procesos biológicos.	Oxidación a SO ₂ (2 días)	3
N O 2	Ninguna	Decaimiento biológico.	Fotodisociación en la estratósfera. (4 años).	0
NO, NO 2	Combustión a altas temperaturas.	Acción bacterial en suelos.	Oxidación a NO ₃ (5 días)	0.5
NH 3	Industrias químicas procesos de combustión	Decaimiento biológico.	Reacción con SO ₂ para formar (NH ₄) ₂ SO ₄ (7 días)	0.3
CO 2	Combustión.	Respiración, decaimiento	Fotosíntesis oceanoas (2-4 años)	1.4
CO	Combustión	Incendios forestales, acción biológica.	(No esta demostrado el mecanismo) (3 años)	79
HC	Combustión industrias químicas	Procesos biológicos.	Reacciones fotoquímicas con NO-H O 2 (2.9 años)	7.6

TABLA 1. 4

RANGO DE CONCENTRACIONES TIPICAS
DE ALGUNOS CONTAMINATES DE INTERES EN ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AIRE

Contaminates	Concentración de Fondo	Concentración en la Atmósfera Urbana.	Concentración en Efluentes.
Monóxido de carbono	0.1 PPM	5 - 10.0 PPM	2,000 - 10,000 PPM
Dióxido de azufre	0.0002 PPM	0.02 - 2.0 PPM	500 - 3,500 PPM
Oxidos de nitrógeno	0.0002-0.005 PPM	0.2 - 1.0 PPM	1,500 - 2,500 PPM
Ozono	0.01 PPM	0.1 - 0.5 PPM	_____
Partículas suspendidas	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	60 $\mu\text{g}/\text{m}^2$	35 x 10 ⁶ $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Hidrocarburos	0.001 PPM	0.001 - 0.1 PPM	

También puede utilizarse para determinaciones de emisiones a la atmósfera y saber si estas se encuentran dentro de los límites establecidos por la Normas. En el primer capítulo se revisarán las Normas Oficiales Mexicanas, para saber los intervalos y características con las que debe cumplir el equipo.

En el segundo capítulo se presentan los fundamentos teóricos en los que se basan principalmente los medidores de flujo.

En el tercer capítulo se establecen las características del equipo y los diferentes medidores con los que puede determinar el arreglo del equipo.

En los dos últimos capítulos se presentan las pruebas que se efectuaron para determinar la eficiencia, intervalos de operación, limitaciones y operación del equipo.

La operación de un tren de muestreo consiste en extraer una cantidad conocida de gas de una fuente para su posterior análisis, esta debe ser representativa de la corriente gaseosa, sin interferencia de otros contaminantes y sin alteraciones físicas y/o químicas.

Estos consisten generalmente de:

- A) Dispositivo de colección (Sonda de muestreo)
- B) Sección de colección
- C) Medición y control del flujo
- D) Fuente de succión

Para que la muestra se colecte con el equipo más adecuado se debe tomar en cuenta las siguientes características de las emisiones :

- Propiedades físicas y químicas.
- Concentración del material presente.
- Propiedades de colección, incluyendo solubilidad, carga eléctrica y otras.
- Propiedades de los contaminantes, con lo que se determina la sustancia

absorbente que se debe utilizar para su estudio analítico.

- La posible interferencia de otros materiales colectados.

Es importante recordar que el muestreo debe realizarse sin alterar la concentración de los contaminantes en el punto de muestreo, por lo tanto la determinación debe ser isocinética, es decir, que la velocidad de los gases debe ser igual a la velocidad con la que estos están siendo colectados y además a una distancia tal, en el conducto, que las perturbaciones ocasionadas por conexiones, derivaciones, etc. no alteren el patrón de flujo. La razón por la que el material particulado debe ser colectado isocinéticamente es la siguiente:

En la FIGURA 1.1 se muestra el caso en el que se tiene un flujo isocinético, en donde por ejemplo si se tienen partículas esféricas de 10 y 1 micras, y si se considera que una partícula de 10 micras pesa 1000 veces más que la de una micra, examinando el dibujo se aprecia que colectarán tres partículas de 10 micras y seis de 1 micra lo que nos da un valor de 3006 unidades de peso por unidad de volumen.

En la FIGURA 1.2 se muestra un flujo sub-isocinético, en el que la velocidad de colección de la muestra es menor a la velocidad de las partículas, y debido a los efectos inerciales se colectarán más partículas de mayor diámetro, por ejemplo tres partículas de 10 micras y dos de 1 micra. Si, además, el flujo es la mitad del mostrado, se tiene, entonces, 6004 unidades de peso por unidad de volumen. Un error de casi 100%.

En la FIGURA 1.3, se tiene el caso de un flujo super-isocinético, en el que la velocidad de muestreo es mayor que la velocidad con la que viajan las partículas, con lo que se incrementa el flujo de muestreo al doble, entonces se colectarán tres partículas de 10 micras y quince partículas de una micra para un total de 3015 unidades de peso por unidad de volumen, lo que

representa 1007 unidades de peso por unidad de volumen, representando esto un error del 50t.

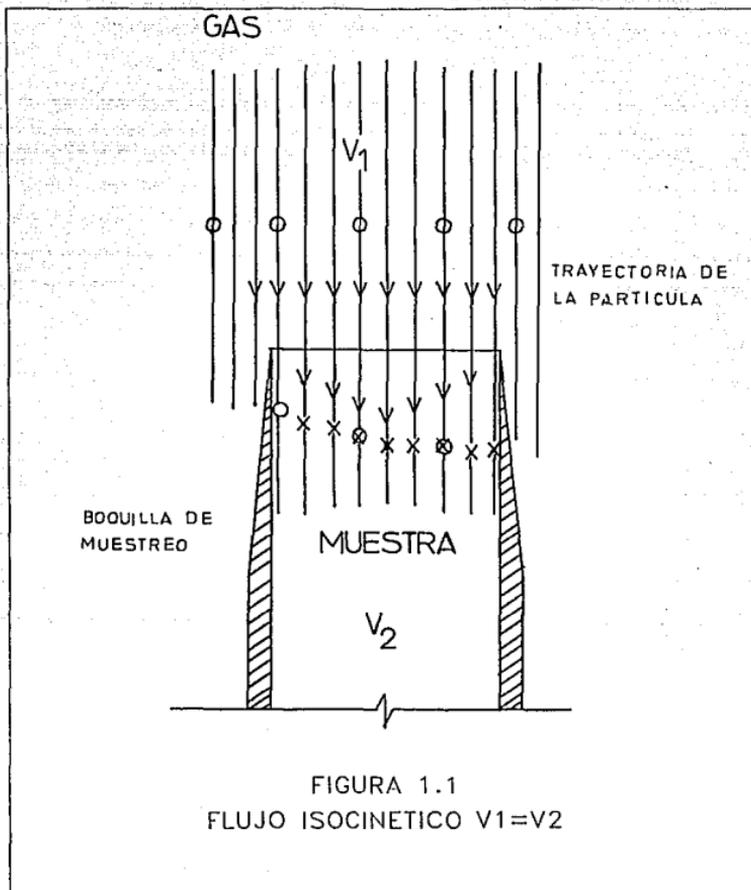


FIGURA 1.1
 FLUJO ISOCINETICO $V_1 = V_2$

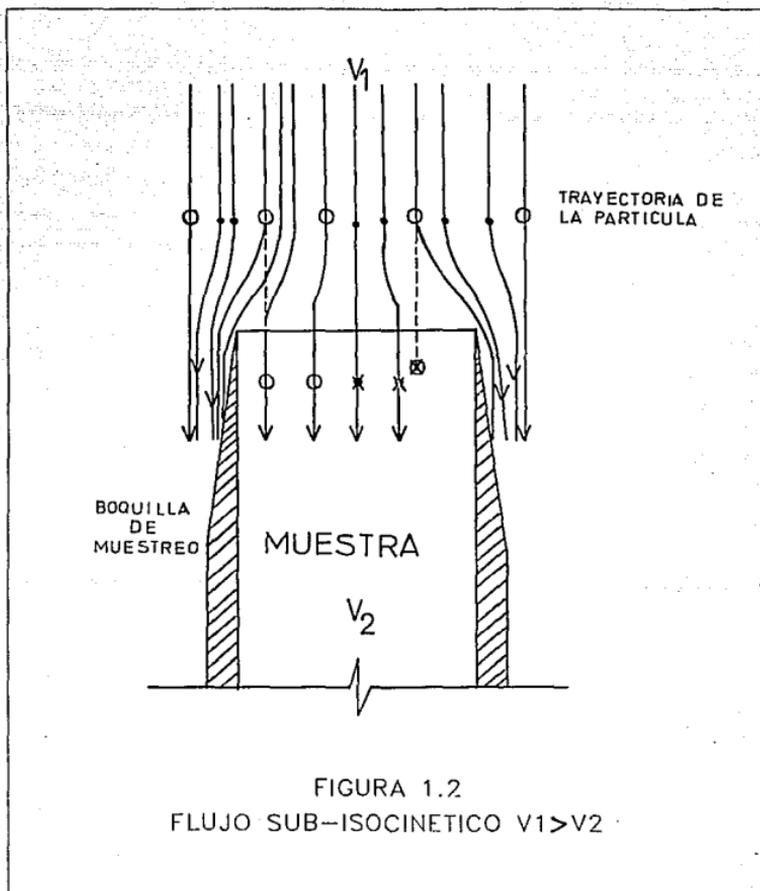


FIGURA 1.2
 FLUJO SUB-ISOCINETICO $V_1 > V_2$

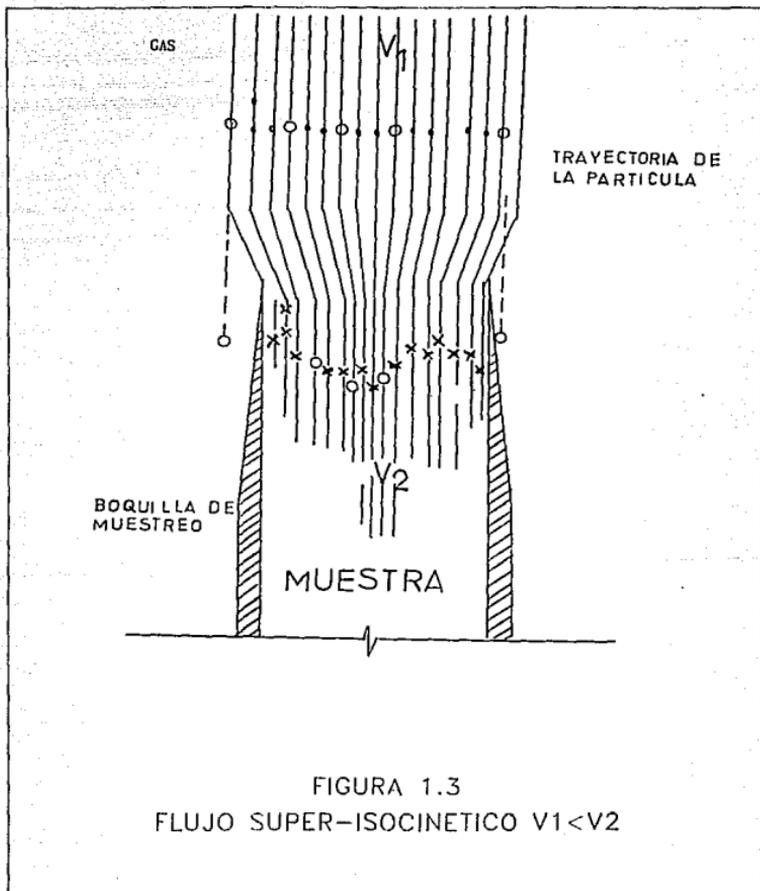


FIGURA 1.3
 FLUJO SUPER-ISOCINETICO $V_1 < V_2$

CAPITULO I

MARCO LEGAL

El marco legal que a continuación se presenta establece las leyes existentes en México para el control de contaminación de gases en conductos o chimeneas que emiten material particulado.

1. LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE

Esta ley establece la protección al ambiente en materia de impacto ambiental, residuos peligrosos, contaminación de la atmósfera y aguas residuales.

2. REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE EN MATERIA DE PREVENION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION DE LA ATMOSFERA.

El reglamento formula los criterios ecológicos particulares de cada entidad federativa.

Establece las normas, instructivos, formatos y manuales para el cumplimiento del reglamento.

Reglamenta los valores de concentración máxima, métodos, equipos y sistemas de monitoreo.

3. NORMAS TECNICAS ECOLOGICAS

En las Normas Técnicas Ecológicas, se establecen los valores de los niveles máximos permisibles de emisiones a la atmósfera, estos varían de acuerdo a la zona en donde se encuentre situada la fuente de emisión, es decir, si se encuentra en una zona crítica o zona no crítica.

4. NORMAS OFICIALES MEXICANAS

En las Normas Oficiales Mexicanas se establece el equipo, instrumentos, sustancias y métodos para llevar a cabo las evaluaciones de las emisiones a la atmósfera

NOM - AA-9-1973

DETERMINACION DEL FLUJO DE GASES EN UN CONDUCTO POR MEDIO DEL TUBO PITOT

Esta norma establece el método para determinar el flujo de gases en un conducto utilizando el tubo pitot. El método es aplicable a velocidades de gases superiores a tres metros por segundo.

Este método se basa en la propiedad del conjunto tubo pitot-manómetro, que es capaz de medir las presiones totales, dinámica y estática del gas en el conducto.

NOM AA-10-1980

DETERMINACION DE LA EMISION DE PARTICULAS SOLIDAS CONTENIDAS EN LOS GASES QUE FLUYEN POR UN CONDUCTO

Esta norma establece el método para determinar, por captación isocinética, la emisión de material particulado contenido en los gases que fluyen por un conducto.

El método se basa en determinar la cantidad total de partículas mediante la diferencia en peso del filtro antes y después de haberse realizado la prueba.

NON AA-35-1976

DETERMINACION DE BIXIDO DE CARBONO, MONOXIDO DE CARBONO Y OXIGENO EN LOS GASES DE COMBUSTION.

Esta norma establece el método para determinar , por absorción selectiva, las concentraciones de bióxido de carbono, monóxido de carbono , oxígeno y nitrógeno de los gases de combustión.

La norma establece dos métodos el "Fyrite" y el "Orsat", en éste último se determina por diferencia de volúmenes antes, y después de llevarse acabo la absorción de los gases un porcentaje en volumen de cada uno de los gases.

NON AA-54-1978

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LOS GASES QUE FLUYEN POR UN CONDUCTO - METODO GRAVIMETRICO -

Esta norma establece el método gravimétrico para determinar la humedad contenida en los gases que fluyen por un conducto a condiciones normales de presión y temperatura.

En el caso de corrientes gaseosas sobresaturadas de agua se determina el contenido total. La norma se basa en el peso ganado por los impactores al condensarse o absorberse el vapor de agua contenida en la corriente gaseosa.

CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEORICOS

A. DETERMINACION DEL VOLUMEN, TEMPERATURA, PRESION Y DENSIDAD DE UN GAS :

Para poder determinar la cantidad de material presente en un volumen de gas deben ser aplicadas las leyes fundamentales de los gases.

1. LEY DE BOYLE

La ley de Boyle establece que el volumen ocupado por una muestra de gas a temperatura constante, es inversamente proporcional a la presión¹, es decir, al aumentar la presión el volumen disminuye.

$$P \propto 1/V \dots\dots\dots (2.1)$$

Introduciendo un factor de proporcionalidad

$$P = K / V \dots\dots\dots (2.2)$$

De donde: $P \times V = K$

Que para una presión P_1 y un volumen V_1

$$P_1 \times V_1 = k \dots\dots\dots (2.3)$$

Igualando la ecuación 2.2 y 2.3

$$P \times V = P_1 \times V_1 \dots\dots (2.4)$$

De donde : $V = P_1 \times V_1 / P \dots\dots\dots (2.5)$

Esta expresión nos permite calcular el volumen de un gas a una presión diferente conocido su volumen y presión original.

¹Morris B., Jacobs. The Chemical Analievsis of Air Pollutans New York:

Intersciense, 1960 pág.19

2. LEY DE CHARLES

La ley de Charles nos permite conocer la relación que existe entre el volumen y la temperatura de un gas a presión constante.

Esta ley establece que el volumen de una muestra dada de un gas es proporcional a su temperatura absoluta, siempre que se mantenga constante la presión.²

Es decir: $V \propto T$

E introduciendo un factor de proporcionalidad

$$V = K' \times T \dots \dots \dots (2.6)$$

Si ahora se cambia la temperatura

$$V_1 = K' \times T_1 \dots \dots \dots (2.7)$$

Dividiendo la ecuación 2.6 entre 2.7

$$V/V_1 = T/T_1 \dots \dots \dots (2.8)$$

De donde : $V = V_1 \times T/T_1 \dots \dots \dots (2.9)$

3. LEY DE BOYLE Y CHARLES

Combinando ambas leyes se obtiene la ley de Boyle-Charles la cual relaciona³ :

$$V \propto 1/P \text{ y } T$$

Introduciendo un factor de proporcionalidad:

$$V = (KT)/P \text{ o } P \times V = K \times T \quad (2.10)$$

$$P \times (V/T) = K \dots \dots \dots (2.11)$$

Si ahora modificamos la temperatura y presión de este sistema gaseoso:

$$P_1 V_1 / T_1 = K \dots \dots \dots (2.12)$$

² ibid., pág.20

³ Morris, loc cit.

Que dividiendo la ecuación 2.11 y 2.12 nos permite calcular el volumen de un gas a una presión diferente conocido su volumen y presión original.

$$\frac{P \times V}{T} = \frac{P_1 \times V_1}{T_1} \dots \dots \dots (2.13)$$

De la cual se obtiene :

$$V = V_1 \times (P_1/P) \times (T/T_1) \dots (2.14)$$

4. TEMPERATURA Y PRESION NORMAL

La determinación del volumen de un gas a una temperatura y presión normal definida a las condiciones de 298 k (25°C) y 760 mmHg sería según la ecuación 2.14⁴.

$$V_{STP} = V_1 \times (P_1/760) \times [(298/(298+T_1))] \dots (2.15)$$

Generalmente en el control de contaminación los manómetros son calibrados en pulgadas de agua por lo que la expresión de la ecuación 2.15 queda:

$$V_{STP} = V_1 \times (P_1/29.92) \times [298/(298+T_1)] \dots (2.16)$$

5. LEY DE DALTON

La ley de Dalton nos expresa la relación para una mezcla de gases, en la cual cada componente contribuye a la presión total del gas, que es la suma de las presiones parciales de cada gas:⁵

$$P \times V = V \times (p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n) \dots \dots (2.17)$$

⁴ ibid., pág. 21

⁵ Morris, loc. cit.

Esta expresión, así obtenida, se utiliza en el control de contaminación del aire para la determinación del volumen de un gas debido a la presencia de vapores de agua o gases residuales.

En el caso en el que el gas está saturado por vapor de agua, el volumen del gas es el volumen actual del gas menos el volumen atribuido al vapor de agua.

De aquí que la presión total es equivalente a la presión parcial del gas más la presión parcial del agua. Por lo que la ecuación 2.18 resulta:

$$V_{STP} = V_1 \times [(p_1 - p_w)/29.92] \times [273/(273+T_1)] \dots (2.18)$$

Donde p_w es la presión parcial del agua.

Y el volumen estandar a 30 pulgadas de agua saturado y 60°F :

$$V_{STP} = V_1 \times [(p_1 - p_w)/(30-0.51)] \times [520/(460+T_1)] \dots (2.19)$$

6. PESO MOLECULAR PROMEDIO

Se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$PM = f_s \sum_{i=1}^n M_i Y_i + f_h M_{H_2O} \dots (2.20)$$

Donde:

PM = Peso molecular promedio

M_i = Peso molecular del gas i

Y_i = Fracción en volumen del gas i

f_s = Fracción de gas seco

f_h = Fracción de gas húmedo

M_{H_2O} = Peso molecular del agua.

7. DENSIDAD

A partir de la ley general de los gases tenemos:

$$PV = nRT \dots\dots\dots (2.21)$$

Donde:

P = Presión a la que se encuentra el gas

V = Volumen del gas muestreado

n = Número de moles del gas

R = Constante general de los gases

T = Temperatura de los gases

Considerando a: $n = m/PM \dots\dots\dots (2.22)$

Donde:

m = masa del gas

PM = peso molecular del gas

Substituyendo 2.22 en 2.21 tenemos:

$$PV = (m/PM) RT \dots\dots\dots (2.23)$$

Arreglando: $m/V = P(PM)/RT \dots\dots\dots (2.24)$

A partir de la definición de densidad: $\rho = m/V$

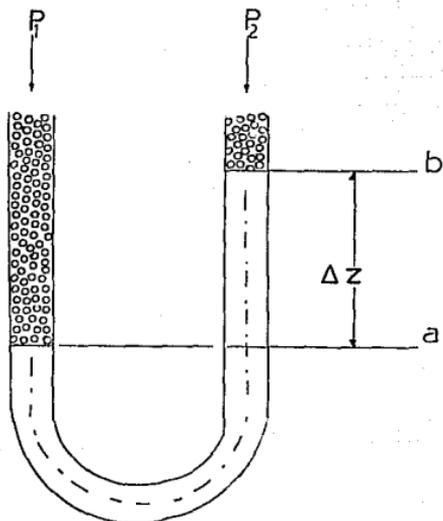
$$\rho = P(PM)/RT \dots\dots\dots (2.25)$$

B. DETERMINACION DE LA PRESION EN UN CONDUCTO O CHIMENEA ⁶

El elemento secundario para determinar la caída de presión de un gas en un conducto es un indicador de presión, el cual puede ser un manómetro inclinado o un manómetro en "U".

Considerando la presión "a" y "b" en la FIGURA 3.1 en los dos brazos del manómetro, si la presión en el nivel "a" es P_1 y P_2 en el nivel "b". La diferencia de alturas del líquido inmiscible en los dos brazos del manómetro es Δz .

FIGURA 3.1
MANOMETRO EN U



6 F.A. Holland Fluid Flow for Chemical Engineering J.W. Arrowsmith
Ltd. Gran Bretaña 1973 pp.139-140

La presión en el nivel "a" en el manómetro es $(P_1 + \rho \Delta z_g)$ y en el nivel "b" es $(P_2 + \rho_m \Delta z_g)$ donde ρ y ρ_m son las densidades del fluido y del líquido inmiscible respectivamente. Estas dos presiones son iguales, ya que ambos brazos del manómetro están conectados por una columna continua de líquido por lo que:

$$P_1 + \rho \Delta z_g = P_2 + \rho_m \Delta z_g \dots (2.26)$$

lo que se puede escribir como:

$$P_1 - P_2 = (\rho_m - \rho) \Delta z_g \dots (2.27)$$

Por lo que la caída de presión a través de un elemento primario es:

$$\Delta h = (P_1 - P_2) / \rho g \dots (2.28)$$

Combinando las ecuaciones 2.27 y 2.28 tenemos:

$$\Delta h = (\rho_m - \rho) \Delta z / \rho \dots (2.29)$$

La cual relaciona la diferencia de presiones a través de un elemento primario con la diferencia de alturas de un líquido inmiscible de dos brazos de un manómetro.

C. DETERMINACION DEL FLUJO DE UN GAS

1. A TRAVES DE UN ORIFICIO:

La caída de presión determinada mediante un indicador de presión está relacionada con la velocidad con la cual viajan el aire o el gas.⁷ Para determinar el flujo de un gas se tiene que relacionar la caída de presión obtenida mediante el indicador con la velocidad del gas.

⁷ ibid., pág 142

A partir de la ecuación modificada de Bernoulli para un fluido que fluye a través de una tubería que se encuentra a un mismo nivel se tiene:

$$(z_2 + P_2/\rho_2 g + v_2^2/2g\alpha_2) - (z_1 + P_1/\rho_1 g + v_1^2/2g\alpha_1) = \Delta h - h_f \quad (2.30)$$

En donde z corresponde a componente de la energía potencial, $P/\rho g$ a la energía debida a la presión y $v^2/2g$ a la energía cinética en donde α es un factor de corrección, adimensional para la distribución de la velocidad.

Por estar al mismo nivel $\Delta z = 0$

Para un fluido incompresible de densidad ρ entre el punto 1 y 2 en una tubería horizontal sin que exista bombeo ni fricción la ecuación 2.30 puede escribirse como:

$$v_2^2/2\alpha_2(1 - v_1^2\alpha_1/v_2^2\alpha_2) = (P_1 - P_2)/\rho \quad \dots\dots\dots (2.31)$$

Considerando los puntos 1 y 2 de la FIGURA (3.2) , si en el punto 1 el flujo aún no ha sido modificado por una reducción , su velocidad es v_1 y el área transversal es S_1 , en el punto 2 se tiene una velocidad máxima v_2 y un área mínima S_2 , a este punto se le denomina vena contracta ; esto ocurre entre medio y dos diámetros de la tubería.

Si en el orificio se tiene una velocidad v' con una área transversal S' y un diámetro d' .

Para este caso el principio de continuidad puede ser expresado por cualquiera de las siguientes ecuaciones:

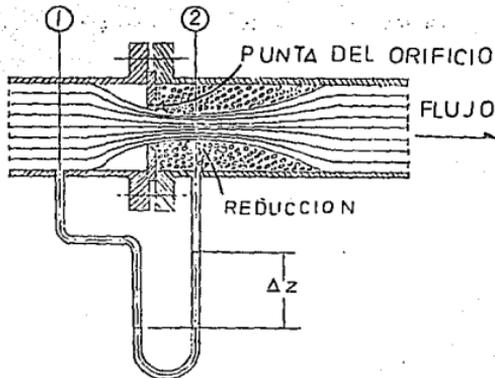
$$M = \rho S_1 v_1 = \rho S_2 v_2 = \rho S' v' \quad \dots\dots\dots (2.32)$$

$$Q = S_1 v_1 = S_2 v_2 = S' v' \quad \dots\dots\dots (2.33)$$

$$Q = \pi/4 (d_1^2 v_1) = \pi/4 (d_2^2 v_2) = \pi/4 (d'^2 v') \quad (2.34)$$

FIGURA 3.2

MEDIDOR DE FLUJO (PLACA DE ORIFICIO)



Donde M es el flujo en unidades de masa por unidad de tiempo y Q es el flujo volumétrico.

Combinando la ecuación 2.31 con la ecuación 2.34 tenemos:

$$\frac{v^2}{2\alpha_2} \left(\frac{d'}{d_2} \right)^4 \left[1 - \left(\frac{\alpha_2}{\alpha_1} \right) \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^4 \right] = \frac{P_1 - P_2}{\rho} \dots \dots \dots (2.35)$$

Arreglando la ecuación 2.35 tenemos:

$$v' = \left(\frac{d_2}{d'} \right)^2 \sqrt{\frac{2 (P_1 - P_2) \alpha_2}{\rho [1 - (\alpha_2/\alpha_1) (d_2/d_1)^4]}} \dots \dots \dots (2.36)$$

Combinando la ecuación 2.34 y 2.36 :

$$Q = S' \left(d_2 / d' \right)^2 \sqrt{\frac{2 (P_1 - P_2) \alpha_2}{\rho [1 - (\alpha_2/\alpha_1) (d_2/d_1)^4]}} \dots \dots \dots (2.37)$$

Esta ecuación nos da el flujo volumétrico cuando no hay fuerzas de fricción en el sistema. En la práctica, el flujo volumétrico puede determinarse por la ecuación :

$$Q = S' C_d \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(1 - (d'/d_1)^4)}} \dots\dots\dots (2.38)$$

En la ecuación 2.38 C_d es el coeficiente de descarga (adimensional) en el cual se toma en cuenta la geometría y las fuerzas de fricción (d'/d_1) es la relación en diámetros del orificio y del diámetro interno de la tubería.

Substituyendo la ecuación 2.28 en la ecuación 2.38 se tiene:

$$Q = S' C_d \sqrt{\frac{2g\Delta h}{(1 - (d'/d_1)^4)}} \dots\dots\dots (2.39)$$

La ecuación 2.39 corresponde al flujo volumétrico en términos del Δh a través de la placa de orificio.

Las ecuaciones 2.38 y 2.39 se refieren a tuberías horizontales. Para el caso en el que las tuberías no son horizontales, la ecuación 2.39 debe escribirse en la forma modificada como:

$$Q = S' C_d \sqrt{\frac{2g(\Delta h - \Delta Z_{12})}{(1 - (d'/d_1)^4)}} \dots\dots\dots (2.40)$$

Donde ΔZ_{12} es la diferencia en alturas entre el punto 1 y 2.

Con las ecuaciones anteriores se calcula el flujo a través de una placa de orificio o un medidor tipo venturi, tomando en cuenta que el factor C_d varía de acuerdo a la geometría y es individual para cada placa.

2. TUBO PITOT

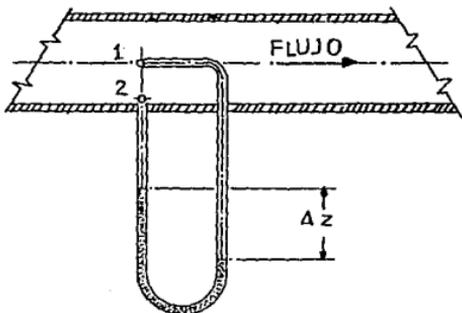
En el caso en el que se utilice un tubo pitot para determinar la velocidad del gas, primero se tiene que definir a la presión dinámica como la presión debida al impacto del gas en movimiento y la presión estática como la presión atribuida a la presencia del gas mismo.

El tubo pitot puede ser utilizado para obtener perfiles de velocidad ya sea en conductos abiertos o cerrados. En el punto 1 de la FIGURA 3.3 se tiene un Δh debido a la energía de presión $P/(\rho g)$ más la energía cinética $v^2/(2g)$; si la energía potencial Δz en el centro de la tubería horizontal se toma arbitrariamente como cero, por lo que la h en el punto 2 se debe únicamente a la energía debida a la presión. Por lo tanto la Δh entre el punto 1 y 2 es igual a $v^2/2g$, si el punto 1 y 2 están lo suficientemente cerca como para considerar que tienen la misma energía potencial, por lo tanto la velocidad está dada por la ecuación:

$$v = \sqrt{2g \Delta h} \dots \dots \dots (2.41)$$

FIGURA 3.3

TUBO PITOT



Combinando la ecuación 2.29 y la 2.41 tenemos:

$$v = \sqrt{2g (\rho_m - \rho) \Delta z / \rho} \dots\dots\dots (2.42)$$

La ecuación 2.42 representa la velocidad del gas en términos de la diferencia en alturas en ambos brazos del manómetro, la densidad del gas y del líquido inmiscible.

Para obtener el volumen de aire a partir de la lectura del tubo pitot la velocidad debe relacionarse con el área transversal del conducto. Si Q representa el flujo volumétrico y S es el área transversal del conducto

$$Q = S \times \sqrt{2g (\rho_m - \rho) \Delta z / \rho} \dots\dots\dots (2.43)$$

3. ROTAMETRO

Respecto a un rotámetro, el orificio es anular sin embargo la expresión es la misma, es decir:

$$Q = C_s \sqrt{2g \Delta h} \dots\dots\dots (2.44)$$

En la placa de orificio el área del mismo es constante y la caída de presión es medida como una función del flujo, por lo tanto Q es proporcional a la raíz cuadrada de la Δh .

En el rotámetro la caída de presión es constante, no así el área por lo que en este caso Q es proporcional a S.

Estando el flotador en equilibrio dinámico la suma de fuerzas que actúan deber ser igual a cero. Si las fuerzas que actúan hacia arriba son positivas y negativas las contrarias, la presión del fluido sobre el flotador será:

Presión del fluido sobre el flotador:

$$+ P_1 (\pi D_f^2 / 4) - P_2 (\pi D_f^2 / 4) \dots\dots\dots (2.45)$$

Peso del flotador:

$$-V_f \rho_f \dots\dots\dots (2.46)$$

Fuerza de flotación:

$$+V_f \rho \dots\dots\dots (2.47)$$

La ecuación de equilibrio es:

$$+ P_1 (\pi D_f^2/4) - P_2 (\pi D_f^2/4) - V_f \rho_f + V_f \rho = 0 \dots (2.48)$$

Agrupando términos:

$$(\pi D_f^2/4) (P_1 - P_2) - V_f (\rho_f - \rho) = 0 \dots\dots (2.49)$$

$$P_1 - P_2 = \frac{4 V_f (\rho_f - \rho)}{D_f^2}$$

Donde:

D_f = Diámetro del flotador

D_t = Diámetro del tubo

W_f = Peso del flotador

P_1 = Presión anterior del flotador

P_2 = Presión posterior del flotador

V_f = Volumen del flotador

ρ_f = Densidad del flotador en peso

ρ = Densidad del fluido en peso

De la ecuación de Torricelli para velocidades en un orificio:

$$V = C \sqrt{2g\Delta h} \dots\dots\dots (2.50)$$

Como:

$$Q = VA_0 \dots\dots\dots (2.51)$$

$$Q = CA_0 \sqrt{2g \Delta h}$$

Combinando la ecuación 2.28, 2.50 y 2.51 tenemos:

$$Q = CA_0 \sqrt{[2g (P_1 - P_2)] * 1/\rho} \dots\dots\dots (2.52)$$

Sustituyendo el valor de $P_1 - P_2$ de la ecuación 2.49:

$$Q = C A_o \sqrt{\frac{2g V_f (\rho_t - \rho)}{\rho (\frac{\pi}{4} D_t^2)}} \dots\dots\dots (2.53)$$

$$A_o = \frac{\pi}{4} (D_t^2 - D_f^2) \dots\dots\dots (2.54)$$

Sustituyendo A_o en la ecuación 2.53 tenemos:

$$Q = C \frac{\pi}{4} (D_t^2 - D_f^2) \sqrt{\frac{2g V_f (\rho_t - \rho)}{\rho (\frac{\pi}{4} D_t^2)}} \dots\dots\dots (2.55)$$

Agrupando términos:

$$Q = C (D_t^2 - D_f^2) \frac{1}{D_t} \sqrt{\frac{\frac{\pi}{4} 2g V_f (\rho_t - \rho)}{16 \rho \frac{\pi}{4}}} \dots\dots\dots (2.56)$$

$$Q = C \sqrt{\frac{\pi g}{2}} \frac{(D_t^2 - D_f^2)}{D_t} \sqrt{\frac{V_f (\rho_t - \rho)}{\rho}} \dots\dots\dots (2.57)$$

$$Q = W / \rho \quad , \quad V_f = W_f / \rho_f \dots\dots\dots (2.58)$$

$$Q = W / \rho = C \sqrt{\frac{\pi g}{2}} \frac{(D_t^2 - D_f^2)}{D_t^2} D_t \sqrt{\frac{W_f (\rho_t - \rho) \rho_f^2}{\rho_f}} \dots\dots\dots (2.59)$$

$$W = C \sqrt{\frac{\pi g}{2}} \frac{(D_t^2 - D_f^2)}{D_t^2} D_t \sqrt{\frac{W_f (\rho_t - \rho) \rho_f}{\rho_f}} \dots\dots\dots (2.60)$$

Puesto que C es función del número de Reynolds y además: $\sqrt{\frac{\pi g}{2}}$ es una constante y $(D_t^2/D_f^2 - 1)$ es función de la posición del flotador y del diseño del tubo. Estos términos se agruparán en una constante K. Por lo que la ecuación 2.60 queda como:

$$W = K D_t \sqrt{\frac{W_f (\rho_t - \rho) \rho_f}{\rho_f}} \dots\dots\dots (2.61)$$

Donde:

W = Velocidad en el orificio

Q = Gasto en volumen

- W = Gasto en peso
- Wf = Peso del flotador
- h = Carga hidráulica en el orificio
- A_o = Area del orificio
- C = Coeficiente de descarga
- K = Coeficiente del rotámetro
- g = Aceleración gravitacional

D. CONCEPTOS DE PRESION¹

La presión es una fuerza por unidad de superficie en donde para la mayoría de los casos se mide directamente por su equilibrio con otra fuerza conocida, que puede ser la de una columna líquida, un resorte, un émbolo cargado con un peso o un diafragma cargado con un resorte o cualquier otro elemento que pueda sufrir otra deformación cualitativa cuando se le aplica presión.

1 PRINCIPIO DE ARQUIMIDES:

Todo cuerpo sumergido en un líquido recibe un empuje, de abajo hacia arriba, igual a lo que pesa el líquido desalojado, es decir:

$$E = P_e V \dots\dots\dots (2.62)$$

Donde:

- E = Empuje del líquido
- P_e = Peso específico del líquido
- V = Volumen del líquido desalojado

¹Nacif Narchi, José, Ingeniería de Control Automático TOMO I.

México: La Ilustración S.A. , págs. 2.1-2.13

2. PRESION ATMOSFERICA :

Es la presión ejercida por la atmósfera de la tierra, debida al peso del aire.

3. PRESION MANOMETRICA

Son presiones que se miden por medio de un elemento que define la diferencia entre una presión que es desconocida y la presión atmosférica que existe.

4. VACIO :

Se refiere a presiones manométricas menores que la atmosférica

5. PRESION ABSOLUTA :

Es la presión de un fluido medida con referencia al vacío perfecto o a la presión absoluta equivalente a cero. En términos matemáticos la presión absoluta es la suma de la presión manométrica más la presión atmosférica.

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{manométrica} \dots\dots\dots (2.62)$$

6. PRESION DIFERENCIAL :

Es la diferencia entre dos presiones medidas, con lo cual se define la caída de presión. Esta se puede indicar en un manómetro que haya sido arreglado para señalar la diferencia de presiones.

7. PRESION ESTATICA :

Equivale a la fuerza por unidad de area que actúa sobre una pared y que es proporcionada por algún fluido en reposo o en donde el flujo es paralelo a la pared del conducto.

8. PRESION DINAMICA :

Esta presión es la provocada por la velocidad de un fluido; en el caso de un fluido incompresible o para gases que fluyen a bajas velocidades equivale a:

$$P_v = V^2/2g \dots\dots\dots (2.63)$$

Donde:

V = Velocidad del fluido

g = Aceleración de la gravedad

CAPITULO III

DESCRIPCION DEL EQUIPO UTILIZADO EN LA DETERMINACION

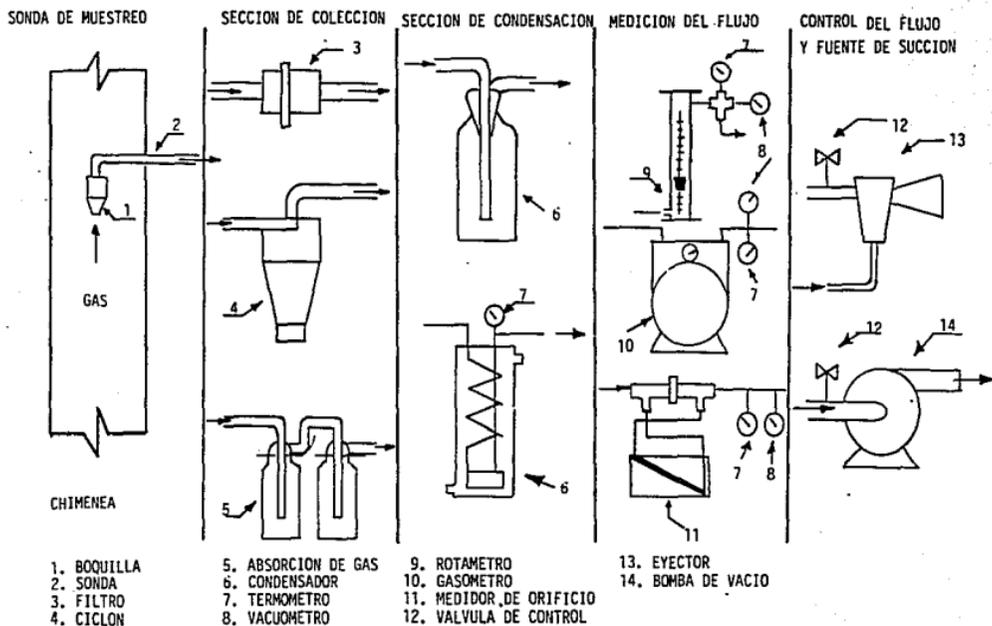
DE CONTAMIANANTES EMITIDOS A LA ATMOSFERA POR FUENTES FIJAS

El equipo y los métodos de colección utilizados para el muestreo en chimeneas y conductos, no solo depende del propósito para el cual el muestreo es realizado, sino también de las propiedades físicas de los gases de chimenea. La operación de los trenes de muestreo consisten en extraer el gas de la fuente a una velocidad conocida y un flujo conocido del gas a analizar. Para poder realizar un muestreo primero debe de existir una fuente capaz de extraer los gases a muestrear de la chimenea o conducto, la cual generalmente es una bomba e vacío; segundo debe existir un dispositivo para capturar los contaminantes que se deseen estimar mediante filtros, ciclones, por absorción, etc.; último debe haber una forma de medir el volumen de gas muestreado. Un tren de muestreo generalmente esta arreglado en serie y consta de las siguientes partes:

- A. SONA DE MUESTREO
- B. SECCION DE COLECCION
- C. MEICION Y CONTROL DE FLUJO
- D. FUENTE DE SUCCION

Generalmente tienen el arreglo que se muestra en la FIGURA 4.0, y cuyos componentes se describen a continuación:

FIGURA 4.0
TREN DE MUESTREO



A. SONDA DE MUESTREO

1. BOQUILLA

Se requiere un juego de boquillas adecuado para resistir las condiciones del muestreo, con puntos y bordes de adelgazamiento gradual con diámetros internos de 1/8", 3/16", 1/4", 5/16", 3/8" y 1/2". En la FIGURA 4.1 se muestran las características de las boquillas típicas de muestreo.⁹

2. La sonda puede ser de vidrio de borosilicato para temperaturas en las chimeneas de hasta 753 K (480 °C) y de cuarzo para temperaturas de chimenea entre 753 - 1173 K (480 y 900°C). Tomando en cuenta que la temperatura de ablandamiento del borosilicato es de 1093 K (820 °C) y 1500°C para el cuarzo.

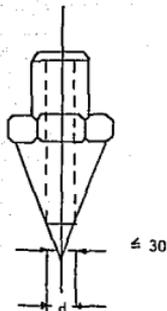
Una alternativa es utilizar acero inoxidable, cobre o teflón si las condiciones de los gases lo permiten.

En caso de humedad extrema (aproximadamente un 15% de volumen de vapor/volumen de aire seco) debe estar provista con un sistema de calentamiento capaz de mantener la temperatura de los gases entre 383 K y 398 K (110 y 125°C).

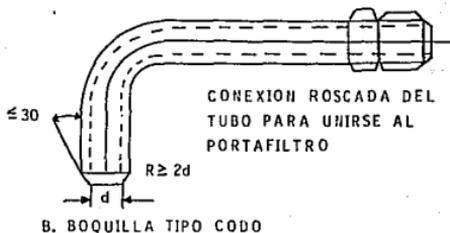
La longitud de la sonda debe ser de por lo menos de 4 m, con un diámetro de 6 a 10 mm.

⁹ NOM-AA-09-1980. México. Contaminación Atmosférica-Determinación del Flujo de Gases en un Conducto por medio del tubo Pitot pág.30

FIGURA 4.1
BOQUILLAS TÍPICAS DE MUESTREO



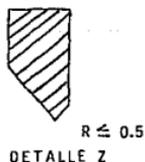
A. BOQUILLA RECTA



B. BOQUILLA TIPO CODO



C. BOQUILLA TIPO CUELLO DE GANSO



DETALLE Z

B. SECCION DE COLECCION

1. PORTAFILTRO HERMETICO

El portafiltro debe ser de preferencia de vidrio de borosilicato, sin embargo se pueden utilizar otros materiales de construcción tales como acero inoxidable o teflón.

El portafiltro debe estar provisto de un sello para evitar infiltraciones en los alrededores de este.

2. MEDIO FILTRANTE

El medio filtrante debe ser capaz de retener por lo menos el 95% del contenido de partículas mayores de 0.5 micras, inerte a los gases por muestrear, libre de impurezas, no higroscópico y resistente a la corrosión. Dependiendo de la temperatura del gas, la composición del material particulado, y los requisitos antes mencionados los siguientes materiales pueden ser utilizados:¹⁰ (ver TABLA 4.1).

3. CONDENSADOR

Este es un sistema de condensación que consiste en cuatro impactores conectados en serie con conexiones de vidrio esmerilado y uniones sin fuga.

El primero, tercero y cuarto impactor deben ser del tipo Greenburg-Smith modificados, esto es, reemplazar la punta del impactor con una extensión de vidrio de 1.3 cm.

Estos dispositivos contienen una cantidad determinada de sustancia absorbente, según el gas que se quiera determinar.

¹⁰ NOM-AA-09-1980. México. Contaminación Atmosférica-Determinación del Flujo de Gases en un Conducto por medio del tubo Pitot EN PROPUESTA

Una variación de los anteriores son los "impactores midget" los que se utilizan cuando se requiere muestrear pequeñas cantidades de aire.

Otro dispositivo son los impactores en cascada, estos son utilizados como métodos de impactación, pero no rígidamente en el sentido de absorción. Su principio se basa en que cuando una corriente de material choca perpendicularmente contra una superficie a una alta velocidad, esto produce un cambio en la dirección del flujo, combinado con la inercia de las partículas resulta en una separación del gas. El impactor consiste en cinco etapas en línea, cada etapa tiene un distribuidor que utiliza un plato de colección sostenido por un resorte, cada distribuidor sucesivo es más pequeño en diámetro de tal manera que la velocidad se incrementa y partículas más pequeñas serán colectadas.

Los recipientes de impactación estarán sumergidos en un baño de hielo para provocar la condensación.

El sistema de condensación debe ser capaz de eliminar el cien por ciento del agua contenida en los gases.

TABLA 4.1

MEDIOS FILTRANTES RECOMENDABLES
PARA LAS CONDICIONES QUE SE INDICAN

Peso de muestra esperado		Temperatura del flujo de gases			Presencia de gotas de líquidos		Medio filtrante recomendado	Peso mínimo de muestra
<100 mg	>100mg	<100 C	100 a 150 C	150 a 425 C	SI	NO		
X		Y			X		Membrana	(24 mg)
X			X		X		Membrana	(50 mg)
X				X	Y		Tubo empacado	(20 mg)
X		X				X	Fibra de vidrio	(11 mg)
							Membrana	(24 mg)
			X			X	Fibra de vidrio	(11 mg)
							Membrana	(50 mg)
X				X		X	Fibra de vidrio	(11 mg)
	X	X			Y		Tubo empacado	(20 mg)
	X		X		X		Tubo empacado	(20 mg)
	X			Y	X		Tubo empacado	(20 mg)
	X	X				X	Cartucho de alundum	(100 mg)
	X		X			X	Cartucho de alundum	(100 mg)
	X		Y			X	Cartucho de alundum	(100 mg)

C. MEDICION Y CONTROL DEL FLUJO

Los instrumentos utilizados para medir el volumen de gases y aire se dividen principalmente en dos categorías (1) instrumentos que muestrean el volumen total de un gas y (2) instrumentos para determinar el gasto del gas. Las respuestas de los medidores de volumen, son determinados por el flujo total de muestreo basándose en el principio de la conservación de la masa (específicamente la transferencia de un volumen de un punto a otro), los medidores de gasto operan bajo el principio de la conservación de la energía, utilizando el teorema de Bernoulli.

Entre los medidores de volumen de uso común, se encuentran los siguientes:

1. DISPOSITIVOS PARA MEDIR EL VOLUMEN DE GAS A MUESTREAR

Medidor de gas seco

Este tiene un par de bolsas interconectadas por un mecanismo de válvulas y un medidor de ciclos. El gas o aire llena una de las bolsas mientras que la otra se vacía, una vez terminada esta operación, la válvula se cambia de tal manera que la segunda se empieza a llenar y la primera a vaciar; este movimiento de las bolsas opera una manivela que transfiere el movimiento a un indicador rotatorio en una escala.

Se emplea para medir hasta 51 m^3 (51000) lts. por hora, y su precisión es de alrededor de 1%.

Medidor de gas húmedo

Este equipo que generalmente esta hecho de latón estañado, consiste en un casco cilíndrico que contiene un rotor de tambor, suspendido en un líquido en

un eje horizontal ; este tambor esta dividido por cuatro paletas en cuatro compartimentos espirales de igual volumen. El gas se deja entrar desde una llave de paso a través de una abertura cerca del eje en cada cuerpo y emerge de una abertura cerca de la periferia del tambor.

El líquido utilizado es agua o glicerina , cuya altura es medida en función de un indicador de vidrio unido al casco. El líquido se coloca generalmente a la mitad de la altura, pero puede ser ajustado a otra altura si así se desea. La presión con la que el gas entra provoca que el tambor rote, con lo que se registra el volumen que pasa, en una carátula.

Algunos instrumentos están contruidos para que el indicador marque 0.03 m³/revolución. Los medidores de gas húmedo deben estar equipados con un nivel de burbuja y tornillos niveladores para permitir que el tambor rote libremente. Debe tener también un manómetro y un termómetro para que el volumen de gas pueda ser corregido por temperatura y presión.

2. DISPOSITIVO PARA MEDIR LA VELOCIDAD DEL GAS A MUESTREAR

Tubo pitot

El tubo pitot puede ser de uno o dos tubos independientes uno de los cuales esta generalmente acodado uno con respecto al otro.

El tipo más común es aquel en que los dos tubos estan unidos concntricamente y arreglados de tal forma que forman una L invertida. Cuando estos instrumentos son introducidos en la corriente del gas, el tubo que esta en sentido contrario a la dirección del flujo mide la presión dinámica , mientras que el tubo perpendicular a la corriente del gas o el tubo con los orificios estáticos mide la presión estática.

Conectando los dos tubos del pitot " S " o el tubo pitot en "L" a un

indicador de presión , se encuentra la diferencia de presiones cuya medida esta relacionada con la velocidad a la cual viaja el gas.

Si la corriente del gas, cuya velocidad esta siendo determinada , tiene mucho polvo o humedad , el tubo pitot estandar o "L" no puede ser utilizado satisfactoriamente, para esto se puede utilizar el tubo pitot Stauscheibe o "S" , a cuyas lecturas se les tiene que aplicar un factor de corrección.

El tubo pitot debe ser de acero inoxidable , se recomienda un diámetro externo entre 0.48 y 0.95 cm , deben existir distancias iguales desde la base de cada pierna del tubo pitot "S" hasta las caras abiertas de estas, esta distancia debe ser de 1.05 a 1.5 veces el diámetro externo del tubo ,las caras deben estar alineadas VER FIGURA 4.2.¹¹

En caso de que el tubo pitot estandar tenga orificios estáticos estos deben localizarse a una distancia de seis veces el diámetro de la tubería desde la punta del pitot y ocho veces el diámetro de estos a la curvatura del acodamiento; el diámetro de los orificios estáticos debe ser de 0.1 veces el diámetro de la tubería espaciados a igual distancia y en configuración de anillo ver FIGURA 4.3.¹²

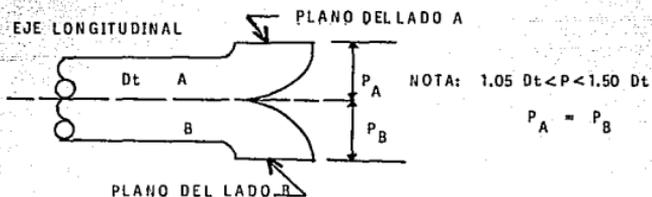
En las FIGURAS 4.4,4.5 y 4.6¹³ se presentan tres tipos de tubos pitot con sus respectivas especificaciones de diseño

¹¹EPA METHOD 2 Determination of Stack Gas Velocity and Volumetric Flow Rate (Type Pitot S Tube).

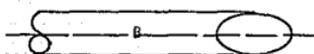
¹² NOM-AA-09-1991 México .Contaminación Atmosférica-Determinación del Flujo de Gases en un Conducto por medio del tubo Pitot, pag. EN PROPUESTA

¹³ ibid ., EN PROPUESTA

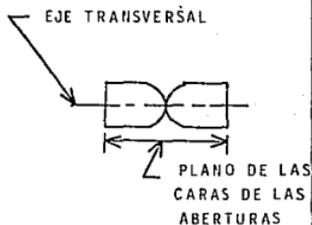
FIGURA 4.2
 ALINEACION DE LOS PLANOS
 DE LAS CARAS DEL TUBO PITOT "S"



(a)



(b)



(c)

FIGURA 4.3
ESPECIFICACIONES DE DISEÑO
DEL TUBO PITOT ESTANDAR

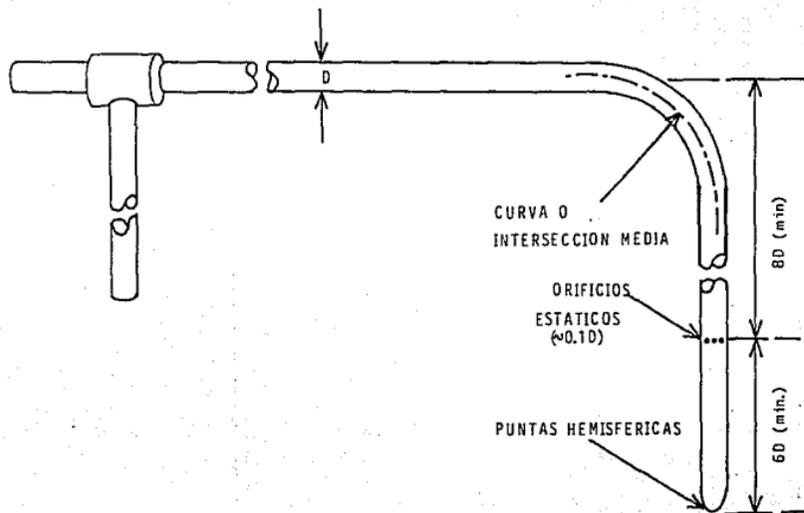


FIGURA 4.4
TUBO DE PITOT TIPO AMCA

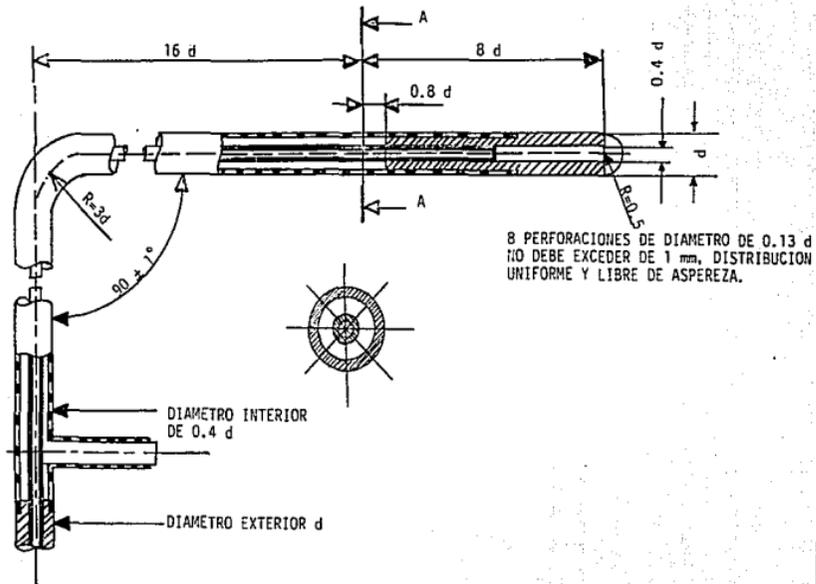


FIGURA 4.5
 TUBO DE PITOT TIPO NPL
 CON PERFIL ELIPSOIDAL MODIFICADO

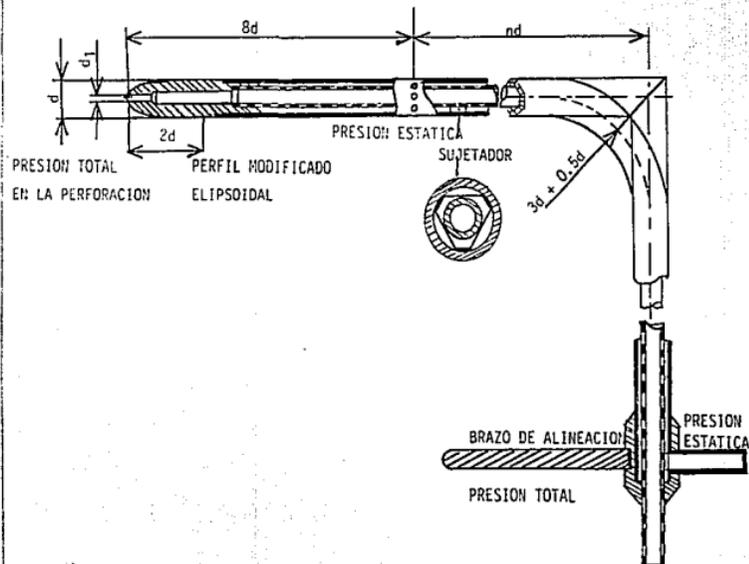


FIGURA 4.5
TUBO DE PITOT TIPO NPL
CON PERFIL ELIPSOIDAL MODIFICADO

CONTINUACION: DETALLE DE LA BOQUILLA ELIPSOIDAL MODIFICADA

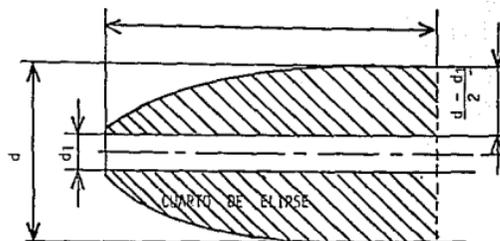
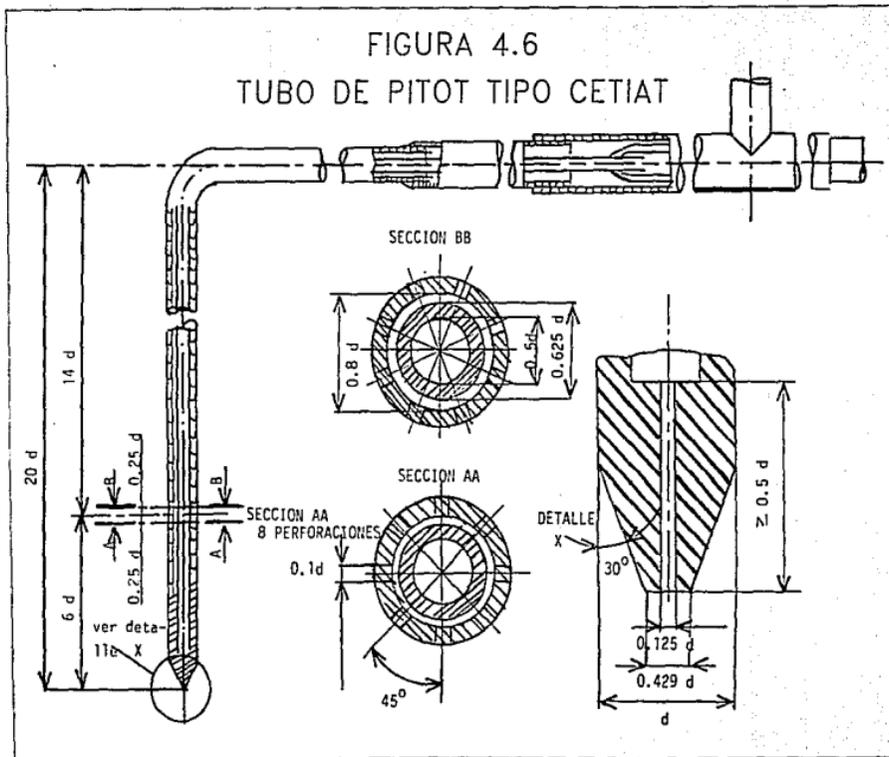


FIGURA 4.6
TUBO DE PITOT TIPO CETIAT



3. DISPOSITIVOS PARA MEDIR EL FLUJO DE GAS MUESTREADO

Cada uno de estos consiste en una restricción al flujo dentro de un conducto cerrado; las restricciones causan un incremento en la velocidad del fluido y por lo tanto en su energía cinética, la cual provoca un decrecimiento en la energía potencial. El gasto puede ser calculado por el conocimiento de la caída de presión, la densidad del fluido, el área transversal de la contracción y del coeficiente de descarga.

Los medidores de gasto pueden ser divididos en dos grupos, aquellos que tienen una restricción fija y que son conocidos como medidores de carga, dado que la carga de presión varía con el flujo; estos consisten en un elemento primario que ocasiona la caída de presión y un elemento secundario, el cual mide la caída de presión.

El elemento secundario más comunmente usado es el manómetro en U.

El otro grupo, es conocido como medidores de área, y en ellos la caída de presión se mantiene constante mientras que el área transversal varía con el gasto. Entre los más comunes se encuentran:

Placa de orificio

Es una placa delgada insertada en un tubo, con un orificio circular en el centro; existe el tipo excéntrico con la abertura en la parte baja de la placa y el segmental; los dos últimos son útiles cuando el líquido que se maneja lleva sólidos en suspensión que pueden depositarse en la placa de orificio del lado de alta presión (lo cual modifica las características del flujo y produce errores). Por lo común se utilizan los espesores indicados en la TABLA 4.2¹⁴

¹⁴ Nacif Narchi, José, Ingeniería de Control Automático TOMO I México: La

TABLA 4.2

ESPEORES COMUNES DE PLACA SEGUN EL DIAMETRO DE LA TUBERIA

ESPEOR DE LA PLACA	DIAMETRO DE LA TUBERIA
1.588mm (1/16")	Hasta 10.16cm (4")
3.175mm(1/8")	De 10.16cm(4") hasta 40.64cm (16")
6.350mm (1/4")	Para m s de 40.64cm (16")

El grueso del borde del orificio no debe exceder 3.175 mm (1/8") para placas con un orificio mayor de 12.7 mm (1/2") y no debe exceder de 1.588 mm (1/16") para placas con un orificio menor de 12.7 mm (1/2"). De ser necesario el borde del orificio debe ser biselado, en el lado de baja presión con un ángulo no menor de 45°.

Las placas tienen pequeñas perforaciones adicionales para el paso de condensados y gases; cuando se miden gases estas perforaciones se localizan abajo para permitir el paso del condensado. Cuando se miden líquidos, estas perforaciones se sitúan en la parte superior para que los gases puedan pasar y no formen acumulado de gas.

La determinación del flujo de gas es registrada mediante un manómetro conectado a unas derivaciones que se encuentran localizadas en cada extremo del tubo. Esta caída de presión es proporcional al cuadrado del flujo.

Se debe tener cuidado en que la diferencia de presiones posterior y anterior a la placa no sea mayor de 0.53 veces debido a que los gases alcanzarán la velocidad sónica. Las pérdidas de energía son grandes y se tienen que hacer correcciones; el error probable de un medidor de orificio es de alrededor de

2 %.

Medidor tipo venturi

Este es otro dispositivo para determinar el flujo de gases. El medidor venturi estandar consiste en insertar en la tubería o conducto un ajuste, el cual converge a un mínimo y diverge a otro estos están conectados por un cuello angosto. El diámetro del conducto convergente disminuye hasta un tercio de su diámetro original en una distancia de dos y media veces el diámetro. El medidor después diverge hasta su diámetro original en una distancia de siete y media veces el diámetro inicial.

La longitud de la disminución divergente minimiza las pérdidas debidas a la reducción de la velocidad del aire y turbulencias.

El medidor tiene aberturas antes de su convergencia y en el diámetro mínimo, estas están conectadas a un manómetro que mide la caída de presión creada por la variación de velocidades.

En la FIGURA 4.7 se muestran las dimensiones críticas de un tubo venturi clásico¹⁵.

Rotámetros

El rotámetro es un aparato que consiste en un flotador que se puede mover libremente hacia arriba y abajo dentro de un tubo de vidrio graduado (empíricamente para diferentes gases), vertical y cónico, siendo su parte superior más ancha que la inferior.

El gas que entra por la parte inferior provoca una presión positiva que debe igualar a la presión negativa ocasionada por el peso del flotador y a la presión de flotación del mismo.

¹⁵ Nacif Narchi, José. Ingeniería de Control Automático TOMO I

Con esto, el flotador se mueve hacia el area de mayor diámetro interno, presentándose así una reducción en la presión diferencial, con lo que se establece que a cada posición del flotador corresponde un flujo.

Un esquema de este tipo de medidores de flujo se muestra en la FIGURA 4.8¹⁶

¹⁶

Williams, Andrew G . Applied Instrumentation in the Process Industries VOL

I . Houston TX: Gulf Publishings 1974. pág. 71

FIGURA 4.7
MEDIDOR DE FLUJO TIPO VENTURI

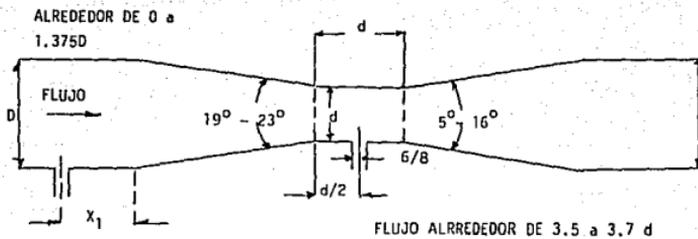
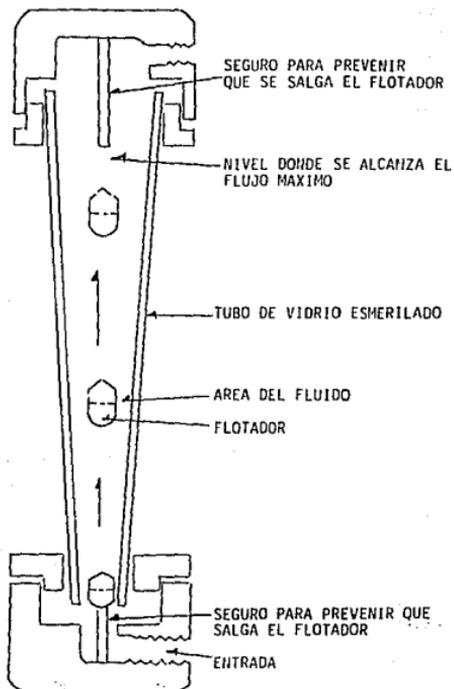


FIGURA 4.8

ROTAMETRO DE VIDRIO



4. INDICADORES DE PRESION

El barómetro

Es un instrumento que se emplea para medir la presión atmosférica, el cual consiste en un tubo lleno de mercurio cerrado en uno de sus extremos, el tubo esta colocado verticalmente y su extremo inferior se encuentra sumergido en un recipiente que también contiene mercurio. La columna de mercurio que se encuentra dentro del tubo, desciende hasta estabilizarse a una altura de 760 mmHg , si se encuentra a nivel del mar.

Los indicadores de presión pueden ser clasificados de la siguiente manera:

I. Tipos de elementos elásticos

En estos la presión que se quiere medir deforma un elemento elástico, lo cual desarrolla una fuerza de equilibrio de manera que permite su calibración para obtener la medición que se desea (con ellos se puede medir presión absoluta, manométrica, vacíos o diferenciales).

II. Tipos "balanza de gravedad"

Son aquellos en los cuales una columna de líquido, balancea la presión desconocida por medio de la fuerza gravitacional de la carga del líquido.

III. Tipos de elementos para medición de vacíos superiores

La mayoría son del tipo eléctrico.

IV. Tipos de elementos medidores de deformación

Pertencen a un método de tipo eléctrico y se emplean mucho en la instrumentación para muchas variables.

Manómetro en U

Este consiste en un tubo de vidrio doblado en forma de "U" y lleno de agua,

mercurio, aceite o cualquier otro líquido de densidad conocida, hasta la marca cero de la escala. Cuando la presión es aplicada a través de uno de los brazos, el nivel del líquido en este brazo baja, mientras que el otro, que está abierto a la atmósfera, sube hasta que el aumento de altura iguala la presión aplicada al tubo.

Cuando este tubo en "U" se utiliza para medir presión absoluta se cierra uno de los brazos, obteniendo de esta manera la presión diferencial.

Manómetro de tubo inclinado

La diferencia de éste con el tubo en "U", es que está provisto de un ramal inclinado en lugar de estar vertical y de un pozo de gran diámetro para aumentar la exactitud de la lectura.

Al aplicar presión en el brazo inclinado se proyecta a una distancia considerable a lo largo del tubo. El diámetro del brazo vertical es proporcionalmente mayor que el brazo inclinado.

Este tipo de manómetros tiene un intervalo de operación de 124.079 a 12407.7 Pa (0.5 a 50 pulg de agua) y nos da una exactitud superior a 0.1 pulg de líquido, se utiliza principalmente para tiros y presiones bajas en donde es suficiente la inclinación visual.

Manómetro de diafragma

Es usado para medir presiones de 2.22 a 244.25 Pa (2.5 a 250 cm de agua).

Esta hecho de cuero que se ha tratado con aceite para asegurar su flexibilidad por largo tiempo, generalmente está opuesto a un muelle, el cual se deflexiona en proporción directa a la presión aplicada; un enclavamiento une el muelle con el mecanismo del puntero, haciendo que este se mueva a lo largo de la escala. El diafragma está hecho de una o más cápsulas

conectadas a una barra común, el total de la deflexión es la suma de las deflexiones de todas las cápsulas.

Diafragmas metálicos

Pueden ser de una o más cápsulas rigidamente conectadas de modo que al aplicar presión cada cápsula se defleja.

Este manómetro tiene los siguientes intervalos de operación : 0 a 1985.26 Pa, 0- 4963.16 Pa (0-8" H₂O, 0-20" H₂O)

Elementos de fuelle

El elemento de fuelle es una pieza expansiva, axialmente flexible que permite que dicho elemento se expanda y se contraiga, que se mide en una unidad cerrada con presión hidráulica o mecánica. La dimensión de los fuelles varía de 0.79 a 30.48 cm (5/16 a 12 ") de diámetro y normalmente esta en forma de varios pliegues.

Los fuelles estan hechos de latón, acero inoxidable, bronce fosforado, acero monel, cobre-berilio, etc.

La unidad de medición se encuentra en la parte posterior del instrumento y contiene un resorte y un fuelle plegado, con lo que se tiene una gran superficie.

Manómetro de tipo Bourdon

Consiste de un tubo de sección ovalado , rolado para formar un arco de un círculo, un extremo esta sujeto, a un cuadrante o sector que se engrana con un piñon sobre el eje del puntero indicador. El extremo del tubo Bourdon fijado al árbol de conexiones está abierto para admitir fluido y el otro extremo está cerrado. Un aumento de presión del fluido en el tubo tiende a desdoblarse al

tubo moviéndose en esta forma el extremo libre. El movimiento del extremo libre se transmite al sector, el cual hace girar el piñón y el puntero.

Manómetro Estándar

El tubo es de bronce que es estirado y formado para dar la sección ovalada apropiada, y rolado alrededor de una forma circular para obtener el radio correcto de curvatura para la gama de presiones deseadas, después se estabiliza para obtener elasticidad necesaria. El tubo está fijado al árbol de conexión y al extremo conector entre el tubo y el movimiento de soldadura de estaño.

Para vapores de muy alta presión, vapores calientes de aceite, etc. se utilizan manómetros de tipo bourdon de acero.

Los manómetros estándar se diseñan para funcionamiento en servicios generales de líquidos, gases o vapores no corrosivos al bronce. El intervalo de operación es de 0 - 4119.69 kPa (0-42 kg/cm²).

5. INDICADORES DE TEMPERATURA

Termómetros

El termómetro es un dispositivo de medición que indica la temperatura de un cuerpo. Los termómetros más usados se basan principalmente en la medición de propiedades tales como:

- I. Expansión volumétrica de gases, líquidos y sólidos
- II. Presión ejercida por gases y líquidos.
- III. Resistencia eléctrica de sólidos
- IV. Presión de vapor de líquidos
- V. Termo-electricidad
- VI. Radiación

Termómetro de vidrio

El termómetro de vidrio esta formado por un tubo capilar de vidrio con un bulbo en su base, en este se encuentra alojado mercurio. El tubo de vidrio tiene una escala.

Una de las desventajas del termómetro llenado con mercurio, es que este se congela a los 234 K (-39°C), sin embargo para temperaturas abajo de ésta se utiliza alcohol el cual se congela a los 143 K (-130°C).

Otra desventaja es que no se pueden medir temperaturas muy elevadas, ya que se necesitaría un tubo muy largo. Para estas condiciones extremas lo que se recomienda es un termómetro de gas que tiene como sustancia termométrica aire, hidrógeno o nitrógeno.

Sistemas Térmicos de Llenado

El sistema térmico de llenado comprende una unidad cerrada bajo presión, y consiste de un bulbo conectado por un tubo capilar a un elemento de tubo Bourdon de forma helicoidal o espiral. Cuando el sistema es llenado con gas, o con vapor en equilibrio con un líquido volátil, un incremento en la temperatura causa un incremento en la presión en el sistema; el incremento en presión tiende a desenrollar la hélice, la que da una lectura de temperatura mayor en el instrumento. Cuando el sistema se llena con un líquido, un incremento en la temperatura causa una expansión del líquido, desenrollándose la espiral para proveer el volumen incrementado.

Los sistemas térmicos se clasifican en:

CLASE I.- Llenados con un líquido orgánico

CLASE IV.- Llenados con mercurio

CLASE II.- Llenados de un líquido en equilibrio con su vapor

CLASE III.- Llenados de gas.

Termómetros bimetalicos

Estos se utilizan cuando las temperaturas no son utilizadas para control de un proceso o cuando no se requiere tomar lecturas continuas.

El principio de estos se basa en que los sólidos se dilatan con el calor, y para un incremento igual de temperatura.

Estos estan contruidos con una tira bimetalica en forma helicoidal, la cual se encuentra dentro de una funda; un extremo de la tira va unida a un pivote, que a su vez esta unido a una aguja indicadora . Al dilatarse la tira con los cambios de temperatura se mueve el pivote y con este la aguja que nos marca la temperatura en una escala.

D. FUENTE DE SUCCION

La fuente de succión debe ser capaz de inducir el volumen requerido a través del tren de muestreo, provista de una válvula para regular el flujo de gas. Esta puede ser una bomba de vacío o un eyector.

SELECCION Y ARREGLO DEL EQUIPO

Para la selección del equipo de muestreo se deben tomar en cuenta las siguientes condiciones del material a coleccionar:

1. Temperatura y presión de la corriente gaseosa. Dependiendo de estas se pueden requerir reducciones de presión, tubería de pared gruesa, dispositivos de enfriamiento o sección de calentamiento.
2. Etapas de colección, estas están en función de los contaminantes y la cantidad de ellos.
3. Flujo mínimo requerido y caídas de presión a través del tren de muestreo, para fijar la capacidad de la fuente de succión.
4. Requerimientos y disponibilidad de electricidad, hielo y agua.
5. Facilidad de remoción y limpieza del equipo.
6. Velocidad promedio de los gases para la selección del juego de boquillas e intervalo de trabajo del manómetro en U.
6. Facilidad de transportación del equipo

El analizador para muestreos de parámetros de emisiones a la atmósfera por fuentes fijas está seleccionado para muestreos industriales y corrientes de gas a velocidades isocinéticas. El equipo requiere de un mantenimiento mínimo y consta de las siguientes partes:

UNIDAD DE MUESTREO (FIGURA 4.9)

Ensamble boquilla de muestreo - sonda - tubo pitot tipo "S".

1. BOQUILLA DE MUESTREO

Consta de dos boquillas de (3/16") 0.467 cm. y (1/8") 0.317 cm tipo cuello de ganso con orificio circular de la pared interior y afilada en el exterior ,

las boquillas son de acero inoxidable, con conexión roscada para unirse a el portafiltro. La colocación del portafiltro (déspués de la boquilla) es para evitar en lo posible condensaciones en el portafiltro y que el filtro que se utiliza se humedezca.

2. FILTRO Y PORTAFILTRO

Para la captación de material particulado se utiliza un portafiltro cónico de 5.3 cm de diámetro y una area de filtración de 20.26 cm^2 el material de construcción es aluminio que a la vez que sirve como un ciclón en el centro de este se coloca un filtro de celulosa, se espera colectar por lo regular más de 100 mg de muestra a una temperatura en la que los gases aún no se condensan.

La entrada del portafiltro tiene una conexión roscada de 1/2 pulg NPT y una salida roscada de 3/8 de pulg. NPT.

3. SONDA DE MUESTREO

Para la colección del material particulado de la fuente de emisiones a la sección de análisis se utiliza una sonda de acero inoxidable para evitar cualquier corrosión o deterioro de este en caso de que los gases sean corrosivos o la temperatura de estos pueda dañar el equipo. Su longitud será de 1.5 m y su diámetro de 4.76mm.(3/16); con una conexión a la entrada de 3/8 de pulg. NPT y a la salida una conexión de latón de 1/4 de pulg para manguera. Esta se conecta a la unidad de muestreo mediante un cordón umbilical de manguera flexible de PVC - Nylon para una presión de trabajo de hasta 15 kg/cm^2 y 8 mm de diámetro interno .

4. TUBO PITOT

Para la determinación de la velocidad de los gases se cuenta con un tubo PITOT "S" de acero inoxidable como el que se muestra en la FIGURA 4.9 este tipo de TUBO PITOT, nos brinda la posibilidad de determinar tanto presión estática como presión dinámica. El tubo pitot tiene una longitud efectiva de 1.5 m y un diámetro de 4.76 mm (3/16 pulg.).

El tubo pitot se conecta a un manómetro tipo U mediante una manguera flexible en el que se lee la diferencia de presiones directamente.

UNIDAD DE CONDENSACION (FIGURA 4.10)

DIMENSIONES longitud : 25 cm, altura : 26 cm, ancho : 25 cm

MATERIAL DE CONSTRUCCION : Fibra de vidrio, plástico

1. SECCION DE CONDENSACION

La determinación de la humedad de los gases se lleva a cabo mediante un tren de impactores del tipo Greenburg-Smith de 50 ml cada uno, tal como se describe en la página 38, el tren de impactores consta de 5 impactores de 50 ml de capacidad cada uno los cuales se colocan en una caja de acrílico, en donde se coloca el baño de hielo a su vez esta caja junto con los impactores se encuentran dentro de una caja de fibra de vidrio para protegerlos cuando se transportes. El equipo tiene este tipo de condensadores con la finalidad de darle una mayor versatilidad, con este tren de condensación el equipo no solamente se utiliza para determinar la humedad de los gases, sino también la concentración de otros gases por absorción, dependiendo de las sustancias que se coloquen en estos.

Esta se encuentra antes de los medidores y en una caja por separado para evitar que estos se dañen con la humedad de los gases o se corroan por estos.

UNIDAD DE CONTROL (FIGURA 4.11)

DIMENSIONES longitud : 30 cm, altura : 20 cm, ancho : 24 cm

MATERIAL DE CONSTRUCCION : lamina de 2 mm de espesor.

1. MEDIDOR DE VOLUMEN

Se utiliza un rotámetro con una escala de 0-50m ft³/hr, por su fácil instalación, su bajo costo, tiene a autolimpiarse debido a el flujo de aire que pasa a través de el flotador, no se requieren tramos de tubería como la placa de orificio y porque la precisión esta en la lectura directa.

De 2.54 cm de longitud por 12.22 cm de altura por 2.54 cm de ancho con conexión roscada de 1/8 de pulg NPT CONICA, con una válvula de ajuste fino en la parte superior de ésta.

2. FUENTE DE SUCCION

Como fuente de succión se cuenta con una bomba de vacío de 1/4 Hp que maneja un desplazamiento de aire máximo de 0.6 (ft³/min) 0.0169 (m³/min). La bomba proporciona un vacío máximo de (20" Hg) 6906 kg/m², la temperatura máxima de trabajo es de (35 °C) 308 k, la bomba opera a 115 VAC 60 Hz, con entrada y salida para conexión de 3/8 de pulg. Para regular el volumen requerido durante el muestreo la bomba cuenta con dos válvulas de aguja una que funciona como ajuste grueso y otra para el ajuste fino, que además sirven como by-pass para evitar que la bomba se quemé por falta de aire a la succión. Esta se encuentra al final del tren de muestreo para evitar en lo posible fugas o infiltraciones.

3. INDICADOR DE TEMPERATURA

Para determinar la temperatura baja de los gases se utiliza un termómetro bimetalico con un intervalo de (0-50 °C) 273 - 323 K , con un vástago posterior de 7.56 cm (2.5") y carátula de 7.56 cm (2.5"), como su funcionamiento no se basa en los cambios de presión de algún fluido, no tiene el problema de que halla fugas y es más fácil tomar las lecturas en la carátula. Su repetitividad es de 1 °C , 0.1% sobre la escala.

Y para determinar la temperatura alta de los gases se utiliza un termómetro bimetalico con un intervalo de trabajo de (0 - 200 °C) 273 - 473 K con un vástago posterior de 5 pulg y una carátula de 5 pulg. de diámetro y una repetitividad de 1 °C .

4. INDICADOR DE PRESION

Se cuenta con un manómetro tipo bourdón con un intervalo de trabajo de (0-76 cm Hg) (0 - 10336 kg/m²), este manómetro se utiliza para medir el vacío que se esta succionando y para realizar la prueba de infiltraciones en el equipo. El indicador de temperatura se colocó antes del medidor de volumen y el de presión después de este último, para hacer correcciones al volumen por presión y temperatura.

El manómetro inclinado que se utiliza para determinar la velocidad de los gases en conjunto con el Tubo Pitot tipo "S" tiene un intervalo de trabajo de 0 - 4 pulg. C.A. con divisiones de 0.01., es de aceite con una densidad relativa de 0.826

Para operar el equipo, se inserta el pitot y la boquilla en el puerto a muestrear se hace vacío con la bomba y con las válvulas de ajuste fino y grueso se mantiene un flujo isocinético.

De aquí los gases de muestreo pasan a través del filtro y mediante la sonda

de muestreo son dirigidos a la UNIDAD DE CONDENSACION y absorción de los gases que se encuentra en una caja integrada. Los primeros dos impactores enfrían y eliminan el material condensable que pueda ser soluble en agua. El último impactor elimina el agua residual presente en la corriente gaseosa. Posteriormente el gas entra a la UNIDAD DE CONTROL , donde será cuantificado, primero pasa por el medidor de temperatura , después por el medidor de volumen y por último pasa por un vacuómetro.

FIGURA 4.9
UNIDAD DE MUESTREO

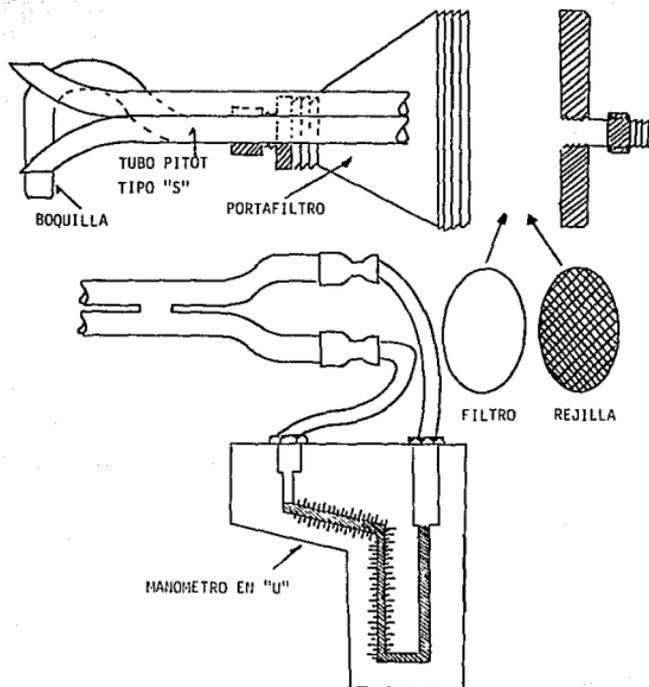


FIGURA 4.10
UNIDAD DE CONDENSACION

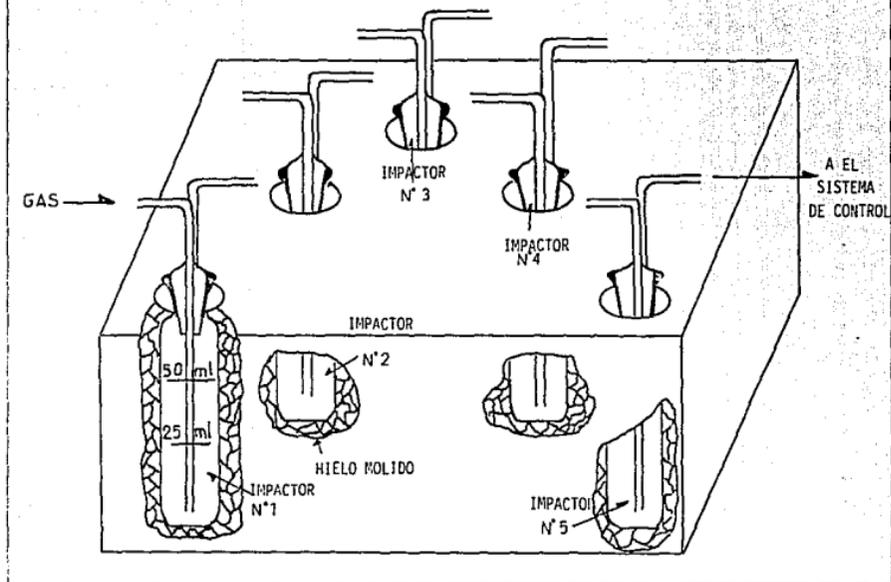
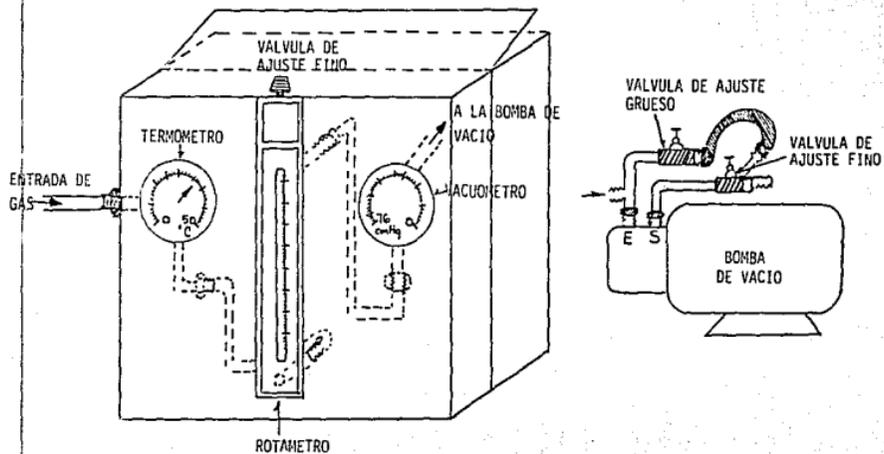
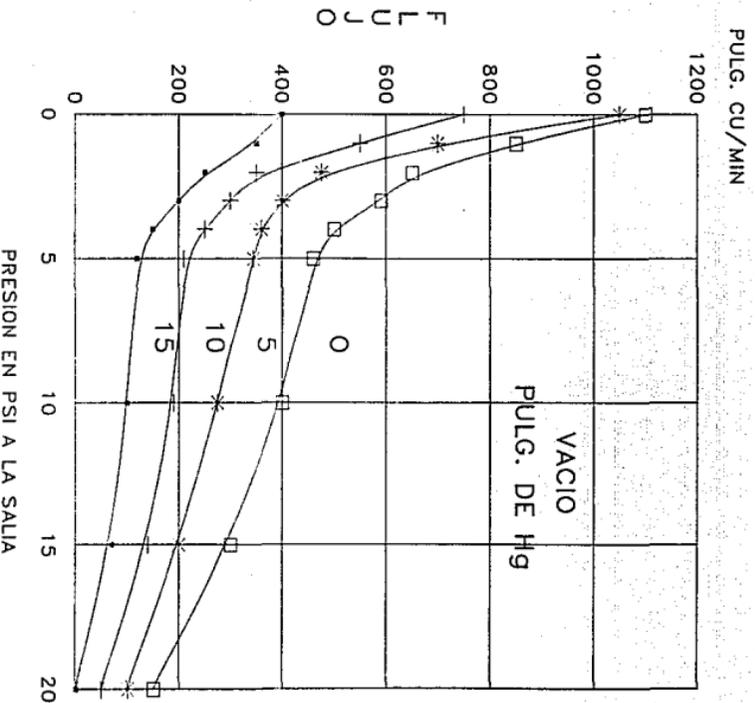


FIGURA 4.11
UNIDAD DE CONTROL



CURVA DE TRABAJO DE LA BOMBA DE VACIO



COSTO DEL EQUIPO

UNIDAD DE MUESTREO

CANT.	UNIDAD	DESCRIPCION	P.U.	IMPORTE
1	PZA	BOQUILLA DE 3/16"	N\$ 25.00	N\$ 25.00
1	PZA	PORTAFILTRO CONICO DE 5.3 cm DE DIAMETRO	N\$ 620.00	N\$ 620.00
1	PZA	SONDA DE MUESTREO	N\$ 100.00	N\$ 100.00
4	METRO	CORDON UMBILICAL DE MANGUERA FLEXIBLE DE 5/16" DE DIAMETRO	N\$ 3.0	N\$ 12.00
1	PZA	TUBO PITOT TIPO "S"	N\$ 100.00	N\$ 100.00
1	PZA	MANOMETRO INCLINADO	N\$ 728.40	N\$ 728.50
			SUB-TOTAL	N\$ 1560.50

UNIDAD DE CONDENSACION

CANT.	UNIDAD	DESCRIPCION	P.U.	IMPORTE
5	PZA	IMPACTOR DE 50 ml	N\$ 80.00	N\$ 400.00
2	METRO	MANGUERA DE AERACION DE 5/16"	N\$ 3.50	N\$ 7.00
1	PZA	CAJA DE ACRILICO	N\$ 49.50	N\$ 49.50
1	PZA	CAJA DE FIBRA DE VIRIO	N\$ 80.00	N\$ 80.00
			SUBTOTAL	N\$ 536.50

UNIDAD DE CONTROL.

CANT.	UNIDAD	DESCRIPCION	P.U.	IMPORTE
1	PZA	ROTAMETRO	N\$ 252.96	N\$ 252.96
1	PZA	TERMOMETRO BIMETALICO 0-50 °C	N\$ 53.90	N\$ 53.90
1	PZA	TERMOMETRO BIMETALICO DE 0-200 °C	N\$ 70.90	N\$ 70.90
1	PZA	VACUOMETRO 0-76 cmHg	N\$ 60.94	N\$ 60.94
1	PZA	BOMBA DE VACIO	N\$ 692.37	N\$ 692.37
2	PZA	VALVULA DE AGUJA	N\$ 24.87	N\$ 49.75
1	PZA	CAJA METALICA	N\$ 209.00	N\$ 209.00
			SUBTOTAL	<u>N\$ 1389.80</u>
			TOTAL	<u>N\$ 3486.82</u>

Para calcular el análisis de COSTO DE EQUIPO POR HORA , es decir, el costo de una evaluación de material particulado, humedad y peso molecular de los gases. Se tienen que tomar en cuenta los siguientes costos con sus respectivos porcentajes respecto a los costos directos.

A) COSTOS DIRECTOS:

1. Cargos fijos
2. Cargos por consumo
3. Cargos por operación

B) REPORTE TECNICO 65%

1. Cargos por laboratorio
2. Realización del reporte técnico

C) COSTOS INDIRECTOS : 80%

- | | |
|-----------------------------|--|
| 1. Administración | 5. Depreciación alquileres y mantenimiento |
| 2. Fianzas y seguros | 5. Obligaciones y seguros |
| 3. Imprevistos | 7. Materiales de consumo |
| 4. Capacitación y Promoción | |

D) UTILIDAD : 10%

La depreciación del equipo se calculó por el método de LINEA RECTA , porque su vida económica es corta, los costos por operación no se incrementan con la edad del equipo y por ser el método más sencillo.

Para la determinación del peso molecular de los gases se necesita el Orstat , costo que se debe adicionar al valor inicial del equipo.

NOTA : Estos costos son validos unicamente en el Valle de México y Estado de México

ANALISIS DE COSTO DE EQUIPO POR HORA

EQUIPO : EQUIPO DE MUESTREO MANUAL

MODELO : 9212EM

CAPACIDAD : 0.0169 m³/min

FECHA : ABRIL/93

DATOS GENERALES

- | | |
|--|---------------------------------------|
| 1) FECHA DE ADQUISICION : DICIEMBRE DEL 92 | |
| 2) PRECIO DE ADQUISICION : N\$ 3,486.82 | 7) TASA DE INTERES ANUAL (i) : 25 % |
| 3) EQUIPO ADICIONAL : N\$ 1,700.00 | 8) HORAS POR AÑO : 1200 |
| 4) VALOR INICIAL (Va) : N\$ 5,186.00 | 9) PRIMA ANUAL DE SEGURO (s) : 3 % |
| 5) VALOR DE RESCATE (Vr) | 10) FACTOR DE MANTENIMIENTO (q) : 50% |
| (20%) : N\$ 1,037.20 | 11) MOTOR : ELECTRICO DE 1/4 HP |
| 6) VIDA ECONOMICA : 1440 HORAS | 12) FACTOR DE OPERACION : 0.8 |
| | 13) POTENCIA DE OPERACION : 0.2 HP |

I CARGOS FIJOS

- | | | |
|------------------|---|-----------------|
| a) DEPRECIACION | $D = (Va - Vr) / Ve = (5186 - 1037.20) / 1440$ | = 2.88 |
| b) INVERSION | $I = (Va - Vr) i / Ha = (5186 + 1037.20) 0.25 / 2 * 1200$ | = 0.648 |
| c) SEGUROS | $S = (Va - Vr) s / Ha = (5186 + 1037.20) 0.03 / 2 * 1200$ | = 0.0777 |
| d) MANTENIMIENTO | $T = q * D = 0.5 * 2.88$ | = 1.44 |
| | SUMA DE CARGOS FIJOS POR HORA | = 6.4857 |

II CARGOS POR CONSUMO

- a) FLETE (F) = c * K * 2 (c es el precio por km y K son los km recorridos)
- $F = 1.12 \text{ N\$/Km} * 30 \text{ Km} * 2 = \text{N\$ } 67.2$
- b) REACTIVO (R) = qt * pq (qt es la cantidad requerida y pq es el precio unitario) PARA EL ORSAT LAS SUSTANCIAS QUE SE UTILIZAN

TIENEN UNA VIDA DE 300 DIAS

REACTIVO	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	TOTAL
ACETONA	0.250	lt.	27.865	N\$ 6.96
AGUA DESTILADA	2.0	lt.	0.6	N\$ 1.20
FILTRO	2	PZA	2.85	N\$ 5.68
		SUBTOTAL		N\$ 13.84
SUSTANCIA PARA EL ORSAT :				
ACIDO PIROGALICO	10	g	1.66	N\$ 16.67
KOH	126	g	0.112	N\$ 13.94
CLORURO CUPROSO	12	g	0.396	N\$ 4.75
ACIDO CLORHIDRICO	0.2	lt	21.10	N\$ 4.22
AGUA DESTILADA	0.4	lt	0.60	N\$ 0.24
		SUBTOTAL/300 = N\$ 39.82/90 =		N\$ 0.13
		SUMA DE CARGOS CONSUMO POR HORA		N\$ 81.30

III CARGOS POR OPERACION

OPERADOR	2 TECNICOS	* N\$ 1,500.00/MES	= N\$ 3,000	* 1.61 = N\$ 4,830.00
	1 INGENIERO	* N\$ 2,250.00/MES	= N\$ 2,250	* 1.61 = N\$ 3,622.50
Salario por hora	promedio So /20 días/mes	= N\$ 8,452.50/20	= N\$ 422.62	
Horas por turno	promedio H = 8 horas	* 0.75 (factor de rendimiento)	= 6 horas	
Operación = So/H	= N\$ 422.66/ 6			= <u>N\$ 70.440</u>
	SUMA DE CARGOS DE OPERACION POR HORA	= N\$		70.44

COSTO DIRECTO POR HORA DE EQUIPO N\$ 158.22

Para llevar acabo una evaluación se requiere de 8 hrs, es decir de un turn completo o un día.

COSTO DIRECTO	= N\$ 1,265.80
REPORTE TECNICO 65%	= 822.77
COSTOS INDIRECTOS 80%	= <u>1,005.44</u>
SUMA	= 3,093.94
UTILIDAD 10%	= <u>309.39</u>
SUMA	= N\$ 3,403.33 POR EVALUACION

CAPITULO IV
CALIBRACION DEL EQUIPO PILOTO

Las técnicas utilizadas en la calibración de dispositivos para la medición de| gasto o volumen muestreado, serán llevadas a cabo en términos de sus principios de operación . Algunos de ellos serán considerados medidores primarios, mientras otros serán secundarios. Los primarios generalmente involucran una medición directa, en base a mediciones físicas de un espacio cerrado. Los secundarios , son instrumentos de referencia o medidores cuya calibración se basa en los estándares primarios los cuales han mostrado su capacidad de mantener su exactitud con un razonable manejo y cuidado en su operación.

A. CALIBRACION DEL TUBO PITOT TIPO "S" ¹⁷

Para calibrar el tubo Pitot "S" se utiliza un tubo Pitot "L" , primero se realiza una inspección visual, donde se registran los siguientes datos:

Dimensiones

1. Diámetro externo
2. Alineación de aberturas
3. Distancia de la base al plano de las aberturas

¹⁷EPA Meth.2 Determination of stack gas velocity and volumetric flow rate type pitot Tube pág 520-525

ESTA TAREA NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

El tubo pitot "S" se calibra en un ducto que se encuentra dentro de las especificaciones de un ancho mínimo de 25.4 cm, de sección transversal constante en una longitud de 10 veces el diámetro equivalente, un flujo estable a una altura de ocho veces el diámetro corriente abajo y dos veces y media el diámetro corriente arriba de la última perturbación.

4. Siempre que se requiera calibrar el tubo pitot en "S", lo primero será marcar una de las piernas del tubo pitot en "S" como A y la otra como B.
5. Se revisa que el manómetro inclinado se encuentre apropiadamente lleno y la sonda no tenga fugas.
6. Se nivela el manómetro en cero, se introduce el tubo pitot "L" se sella el puerto de muestreo del tubo pitot "S", se coloca el tubo pitot "L" en el punto de calibración y se alinean las puntas de tal manera que estas apunten directamente al flujo, se registran los valores de ΔP así obtenidos, una vez realizado lo anterior se quita el tubo pitot "L", se desconecta el manómetro y se sella el puerto de muestreo.
7. Se conecta el tubo pitot "S" al mismo manómetro, se inserta en su respectivo puerto de muestreo se nivela a cero el manómetro y se alinea el tubo pitot "S", de tal manera que el lado de impactación "A" se encuentre en la misma posición que el tubo pitot "L"; se registran los ΔP así obtenidos, y se desconecta el tubo pitot. Lo anterior se repite para el lado B del tubo pitot "S".
8. Se realizan tres lecturas de ΔP por cada lado y calcula lo siguiente:

$$C_{ps} = C_{pstd} \sqrt{\Delta P_{std} / \Delta P_s} \dots (5.1)$$

Donde:

C_{ps} = Coeficiente del tubo pitot "S"

C_{pstd} = Coeficiente del tubo pitot "L" e igual a 0.9

ΔP_{std} = La presión velocidad medida registrada con el tubo pitot "L"

ΔP_s = La presión velocidad medida registrada con el tubo pitot "S"

Esto se calcula para el lado A y B . Se calcula la diferencia entre ambos valores y esta debe ser menor a 0.01.

$$\text{Desviación promedio A o B} = \frac{2C_p - C_p}{3} \dots\dots\dots (5.2)$$

$$\text{Desviación} = C_p - \overline{C_p} \text{ (A o B)} \dots\dots\dots (5.3)$$

El tubo pitot en "S" podrá utilizarse siempre y cuando los valores tanto del lado A como B sean menores o iguales a 0.01.

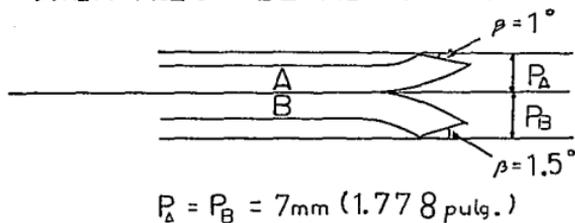
DIMENSIONES DEL TUBO PITOT (Ver FIGURA 5.1)

1. Diámetro externo : 6.01 mm (1.524 pulg)
2. Alineación de aberturas : $P_A : \beta_1 = 1^\circ$, $P_B : \beta_2 = 1.5^\circ$ respecto a el eje longitudinal del tubo.
3. Diferencia en alturas de cada pierna $z = 1$ mm
4. Distancia de la base a el plano de las aberturas P_A y P_B
 $P_A = 7$ mm (1.778 pulg)
 $P_B = 7$ mm (1.778 pulg)

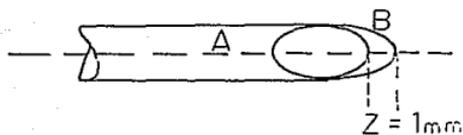
Como el diámetro se encuentra entre 0.48 y 0.95 cm y las dimensiones de P_A y P_B son iguales y se encuentran entre 1.05 a 1.5 veces el diámetro externo , β_1 y β_2 son menores a 5° , y z es menor a 3.2 mm el factor de calibración puede ser 0.84 . Sin embargo se llevó acabo la calibración y los resultados se encuentran en la página 83.

FIGURA 5.1
CALIBRACION DEL TUBO PITOT
TIPO "S"

ALINEACION DE ABERTURAS:



DIFERENCIA EN ALTURAS:



HOJA DE RESULTADOS

CALIBRACION DEL TUBO PITOT TIPO "S"

FECHA : 5 DE ENERO DE 1992

TUBO DE PITOT TIPO "S"

TUBO DE PITOT DE REFERENCIA: "L"

FABRICADO EN: MEXICO, D.F.

FABRICADO EN: ESTADOS UNIDOS

MODELO: 720BRC5

MODELO: 1PL273

AÑO DE FABRICACION: 1992

AÑO DE FABRICACION: 1991

FACTOR DE CALIBRACION: 0.774

FACTOR $C_{p \text{ STD}}$ 0.9

CORRIDA N.	CALIBRACION DEL LADO "A"			DESVIACION $C_{pe} - \bar{C}_{p(A)}$
	Δp_{std} (in H ₂ O)	Δp_{pe} (in H ₂ O)	C_{pe}	
1	0.13	0.22	0.761	0.007
2	0.13	0.21	0.778	0.009
3	0.12	0.20	0.766	0.002
		\bar{C}_{pA}	0.768	0.006

CORRIDA N.	CALIBRACION DEL LADO "B"			DESVIACION $C_{pe} - \bar{C}_{p(B)}$
	Δp_{std} (in H ₂ O)	Δp_{pe} (in H ₂ O)	C_{pe}	
1	0.14	0.23	0.772	0.009
2	0.15	0.24	0.782	0.001
3	0.14	0.22	0.789	0.008
		\bar{C}_{pB}	0.781	0.006

FACTOR DE CALIBRACION = 0.768 * 0.78172 = 0.774

B. CALIBRACION DE LAS BOQUILLAS¹⁸

Todas las boquillas deben ser calibradas antes de utilizarse.

Su calibración se lleva a cabo con un micrómetro, con el que se mide el diámetro interno de la boquilla con aproximaciones de 0.0254 mm (0.0001 in).

Se realizan tres mediciones, por cada boquilla, y con ellas se obtiene el promedio de las medidas. La diferencia entre el número más alto y el más bajo, no debe exceder de 0.1 mm. Cuando la boquilla se corroa, deteriore o se obstruya esta deberá ser limpiada y pulida para posteriormente volverse a calibrar.

¹⁸ EPA Meth. 5 Determination of particulate emissions from stationary sources pág. 562

HOJA DE RESULTADOS
CALIBRACION DE LA BOQUILLA

FECHA : 5 DE ENERO DE 1993

BOQUILLA TIPO: CUELLO DE GANSO

FABRICADA EN: MEXICO, D.F.

MODELO: 9208GCBG

AÑO DE FABRICACION: 1992

MEDICION NUMERO	DIAMETRO INTERMO (cm)
1	0.4
2	0.43
3	0.43
DIFERENCIA	0.03

C. CALIBRACION DEL ROTAMETRO¹⁹

PROCEDIMIENTO

1. APARATOS Y EQUIPOS

- Rotámetro a calibrar con conexiones de tubo de 0.6 cm de diámetro.
- Gasómetro seco previamente calibrado, provisto de termómetro graduados de (0 a 100 °C) 273 a 373 K
- Fuente de succión con capacidad para mantener un flujo uniforme de 0.5 dm³/segundo y para vencer las fricciones del sistema de comparación.
- Válvula reguladora de flujo de ajuste fino.
- Cronómetro con aproximación de 0.1 segundos
- Mangueras flexibles de polietileno de baja densidad o similares, de 0.6 cm de diámetro interno.

2. *Ensamble del equipo como se muestra en la FIGURA (5.2) :*

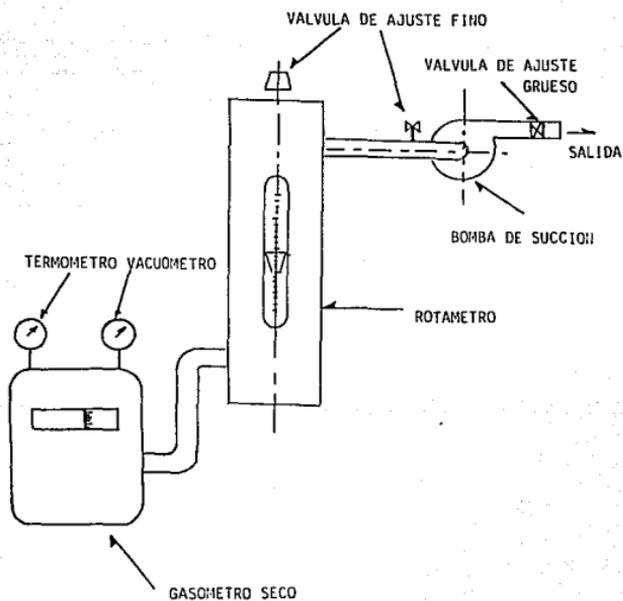
En un laboratorio o sitio bajo techo , protegido contra corrientes de aire y calentamiento directo .

3. *Verificación de infiltraciones*

Se pone en marcha la fuente de succión y se permite que el flujo se estabilice, se tapan las entradas del gasómetro seco hasta que el manómetro del mismo indique un vacío máximo estable de 490 Pa se apaga la fuente de succión, se bloquea la entrada y la salida del tren de calibración y se espera un minuto.

¹⁹NOM-AA-86-1986 Rotámetros calibración.

FIGURA 5.2
CALIBRACION DEL ROTAMETRO



Si después de este tiempo el vacío citado permanece constante, esto indica que el sistema esta libre de infiltraciones; de lo contrario se deben localizar las fuas y sellarse.

4. Estabilización de la temperatura

Con la fuente de succión en operación, se espera de 10 a 15 min para que se establezca la temperatura del gasómetro.

5. Regulación del gasto

Se regula el gasto indicado por el rotámetro con la válvula de ajuste fino a un número entero y constante, cercano al valor medio de su escala; este valor se denomina "Gr".

6. Comparación de gastos

Cuando la aguja del gasómetro pase por el cero, se pone en marcha el cronómetro, se anota el volumen indicado por el gasómetro y se mantiene constante durante un minuto el gasto leído en el rotámetro. Se espera a que la aguja del gasómetro de un número entero de vueltas, cuando pase por el cero se detiene el cronómetro y se anota la lectura del gasómetro.

Se repite el procedimiento para varios gastos que cubran toda la escala del rotámetro (por lo menos cinco gastos repartidos uniformemente entre 20 y 100% de la escala).

7. Cálculos

Con los datos obtenidos se calculan los gastos a través del gasómetro, llamándolos "G".

Se calculan los factores de corrección con la fórmula siguiente:

$$fr = G/Gr \dots\dots\dots (4.4)$$

Donde

fr = factor de corrección

Con los valores de Gr como abscisa y fr como ordenada, se construye la gráfica de calibración del rotámetro.

Para el rotámetro calibrado la lectura será igual a la lectura multiplicada por el factor de calibración leído en la gráfica.

TABLA DE RESULTADOS

CALIBRACION PARA EL ROTAMETRO

FECHA : 5 DE ENERO DE 1993

ROTAMETRO N. SERIE : 040697

GASOMETRO N. SERIE 98547

MODELO : RMA-7-SSV-1MV

MODELO : GMS - 364B

AÑO DE FABRICACION : 1991

AÑO DE FABRICACION: 1990

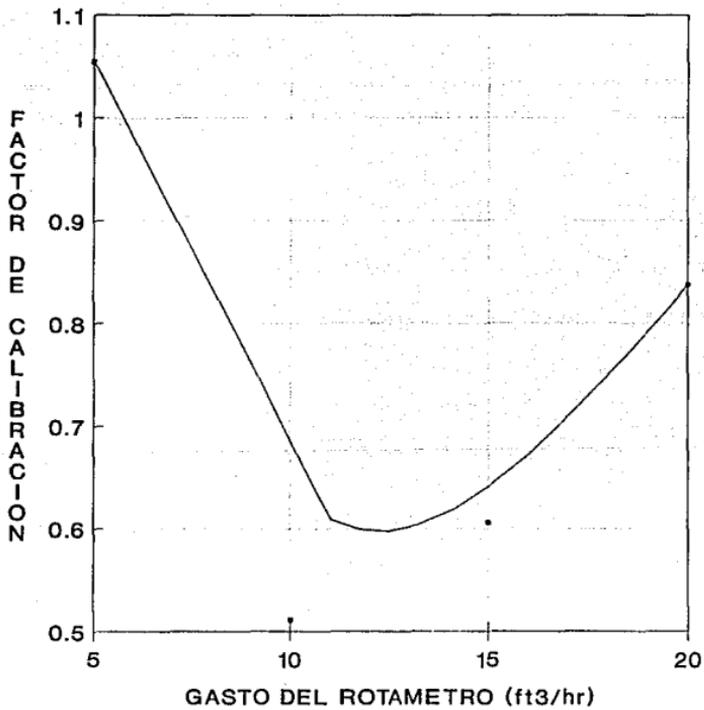
FABRICADO EN : ESTADOS UNIDOS

FABRICADO EN: ESTADOS UNIDOS

TEMPERATURA : (25 °C) 298 K

PRUEBA NUMERO	G (ml/min)	Gr (ml/min)	f _r G/Gr
1	0.00249	0.00236	1.055
2	0.00240	0.0047	0.5106
3	0.00428	0.00702	0.6053
4	0.00789	0.00943	0.8366
		f _r	0.7519

CURVA DE CALIBRACION DEL ROTAMETRO 5/ENERO/1993



CAPITULO V
MANUAL Y PRUEBA DE OPERACION DEL EQUIPO PILOTO

A. ENSAMBLE DE LA UNIDAD DE MUESTREO

ARMADO DEL FILTRO

Instale la rejilla en el disco, y coloque el filtro sobre ésta, utilizando unas pinzas o un dispositivo similar que no permita que éste sea dañado.

NOTA: Todo los filtros deben prepararse mediante desecación a 293 k (20°C) y presión ambiente, durante al menos 24 hrs. para poder ser utilizado. Una alternativa es secarlos en una estufa a 378 k (105°C) durante 2 hrs. para posteriormente desecarse durante 2 hrs. y ser pesados. Se coloca la parte cónica del filtro enroscándola en el disco, una vez realizado lo anterior se aprieta.

B. ENSAMBLE DE LA UNIDAD DE CONDENSACION

Si se va a utilizar el tren de frascos impactores, debe revisarse que se encuentren los cinco frascos impactores y sus correspondientes conexiones de manguera, estos no deben ser conectados si no se han llenado con las correspondientes cantidades de sustancias y pesados previamente. Se revisa que las uniones y frascos se encuentran en la posición correcta. Para ayudar a el sellado del sistema se utiliza cinta de teflón entre cada impactor y grasa de silicón para sellar las uniones de vidrio de cada impactor. Se engrasa únicamente la parte exterior de estas para evitar que se contamine la muestra.

PREPARACION DE LOS FRASCOS IMPACTORES

Se pesan 20 g. de sílica gel hasta 0.5 g. y se coloca en el quinto frasco impactor. Se ponen 25 ml de agua en el primero, segundo y tercer impactor y se dejó el cuarto impactor vacío.

Se agrega hielo en la caja de los impactores y de ser necesario sal para mantener una temperatura menor a 293 K (20°C) a la salida del quinto impactor. Se pesa cada impactor al iniciar y finalizar la prueba y se registran los datos en la TABLA 5.1.

C. ARMADO DEL TREN DE MUESTREO

Se inspecciona visualmente la sonda. Esto se puede realizar mediante una inspección visual de la sonda sin la boquilla, colocando una lámpara atrás de ésta y revisando que no se encuentre obstruida o doblada. Se coloca la boquilla de muestreo al portafiltro, utilizando las tuercas y apretándola con una llave española de 5/8.

La sonda se conecta a la salida del portafiltro de la misma manera como se conectó la boquilla.

Si la sonda o el equipo se ensamblan en un lugar alejado del sitio donde se va a realizar el muestreo, debe verificarse que las entradas están debidamente selladas, con tapones de plástico o cualquier otro material de tal manera que no entre material particulado en el equipo.

La salida de la sonda de muestreo se conecta a cordón umbilical y este a el tren de frascos impactores (a el impactor N. 1). El impactor N. 5 se conecta a la unidad de control.

Revise que la unidad de control se encuentre conectada a la fuente de succión que se encuentra en la parte posterior de ésta.

Se coloca el tupo pitot "S" a el manómetro inclinado y se une a la sonda de muestreo, asegurándose que la alineación de la abertura de la boquilla y la cara de impactación de el Tubo Pitot "S" estén directamente en dirección al flujo del gas.

D. REVISION DE INFILTRACIONES

Se recomienda una prueba de infiltraciones antes de realizar el muestreo definitivo. Para llevarlo a cabo se procede de la siguiente manera:

- 1 Se coloca un tapón de plástico en la boquilla, se enciende la bomba de vacío ajustándola con las válvulas del fino-grioso para mantener un vacío de (15 "Hg) 50.82 kPa.
- 2 Se cierra la válvula de regulación de flujo y se apaga la fuente de succión.
- 3 Se observa el rotámetro y se determina la velocidad de infiltración, una velocidad de infiltración de (1.2 ft³/hr) 0.034 m³/hr es aceptable.
- 4 Si el flujo de infiltración no excede este valor, cuidadosamente se quita el tapón de la boquilla.

Esta operación debe realizarse con cuidado para evitar que haya fugas de agua de los frascos impactores, esto se puede evitar si no existe un burbujeo excesivo en ellos.

- 5 Si las fugas exceden de (1.2 ft³/hr) 0.034 m³/hr se desconecta el cordón umbilical de la unidad de control y se verifica que no haya fugas en la UNIDAD DE CONDENSACION, tapando el cordón umbilical en la línea de se conecta nuevamente a la UNIDAD DE CONTROL y se repiten los pasos 2 y 3
- 6 En seguida se debe realizar una prueba de infiltraciones a los portafiltros y sonda. En cada caso se observa el rotámetro.

7 Se corrigen las fugas, cuando estas ocurran. Se sugiere que se selle primero el portafiltro, ya que de experiencias pasadas se ha observado que es aquí donde normalmente ocurren las fugas, esto se debe realizar antes de ensamblar la unidad.

E. PRUEBA DE OPERACION DEL EQUIPO PILOTO PARA DETERMINAR SU EFICIENCIA, CAPACIDAD Y CONFIABILIDAD

Después de que el sistema ha sido preparado de acuerdo a las instrucciones previamente mencionadas, la prueba de emisiones puede realizarse.

1 PRINCIPIOS Y APLICABILIDAD

1.1. El muestreo de material particulado debe llevarse a cabo isocinéticamente del origen y colectado a una temperatura dentro de un intervalo de $(120^{\circ}\text{C} \pm 14^{\circ})$ $393^{\circ}\text{K} \pm 14^{\circ}$.

La masa de material particulado, incluye cualquier material condensable a la temperatura de filtración .

1.2. Aplicabilidad

Este método es aplicable para la determinación de material particulado proveniente de fuentes estacionarias.

2 APARATOS

2.1 TREN DE MUESTREO :

Un esquema y los aparatos utilizados del tren de muestreo en este método se describe en el CAPITULO III .

3 AGENTES

3.1 MUESTREO

Filtros numerados y previamente pesados para su identificación

SILICA GEL : Mezcla 6 a 16 previamente secada a 448 k (175 °C) durante 2 hrs.

AGUA : Destilada.

HIELO MOLIDO

3.2. RECUPERACION

Agua : Destilada.

Acetona : Reactivo analítico.

4 PROCEDIMIENTO

4.1. La prueba del equipo se realizó en una chimenea donde previamente y con otro equipo se realizaron las pruebas preliminares de contenido de humedad en los gases, contenido de CO₂, CO y O₂, así como la determinación de la velocidad preliminar para conocer el tamaño adecuado de boquilla, las determinaciones y los datos obtenidos del muestreo definitivo se realizaron con el equipo piloto.

4.2. Durante el muestreo se debe mantener un isoscintismo dentro de un intervalo de 100 ± 10%. Todos los datos se registrarán en una hoja de campo tal como se muestra en la TABLA 5.3

4.3. Se registra la lectura del rotámetro al principio, a intervalos de tiempo de muestreo ,antes y después de cada prueba de infiltraciones, cuando se observe una variación en la caída de presión de más del 20% o , se realicen

cambios en el flujo tal como una determinación en otro punto de muestreo y al finalizar el muestreo.

4.4. DETERMINACIONES PRELIMINARES

I. Determinar la presión y temperatura de los gases en el conducto

II. Selección de puertos de muestreo y número de puntos a muestrear

Todos los puertos de muestreo deben ser limpiados antes de cualquier prueba para minimizar la posibilidad de coleccionar material depositado en los puertos y asegurarse que la boquilla y el tubo pitot no se encuentren obstruidos.

Selección del puerto de muestreo

Los puertos están colocados a una altura tal que conserve la relación de 8 diámetros corriente arriba y 2 diámetros corriente abajo de la última perturbación del flujo, ocasionado por expansión, contracción, codo, ventilación u otros y dos diámetros a la salida.

Selección del número de puntos a muestrear

-Para conductos no circulares se debe calcular el diámetro equivalente de la siguiente manera:

$$D = 2LB / (L+B) \dots\dots\dots (5.1)$$

Donde:

D = Diámetro interno equivalente

L = Largo de la sección interna del conducto.

B = Ancho de la sección interna del conducto.

III. Tiempo total de muestreo. Para calcular el tiempo total de muestreo se debe tomar en consideración los siguientes puntos:

- El tiempo de muestreo por punto no debe ser menor a 3 min en condiciones estables de operación.
- El tiempo total de muestreo debe ser una hora como mínimo para una mayor confiabilidad en los resultados.

IV. El volumen a muestrear se calcula de la siguiente manera:

$$C = \frac{ft/min}{(Pch \text{ inHg}/ 29.92) \times (517 R/ Tch R)} \times (60 \text{seg}/\text{min}) \times \text{fracc. de gas seco} \times \dots \quad (5.2)$$

$$\text{flujo de boquilla} = \text{area de boquilla} \times C = \text{ft}^3/\text{normal}/\text{min} \quad \dots \quad (5.3)$$

$$\text{volumen total} = \text{flujo en la boquilla} \times \text{tiempo total mínimo} \quad \dots \quad (5.4)$$

5. EJECUCION DE LA PRUEBA

5.1. Se verifica el cero en instrumentos digitales y paralaje en analógicos.

5.2 Se cierra la válvula reguladora de flujo se inserta la sonda en el conducto para muestrear en el primer punto de prueba, con la boquilla apuntando en el sentido del flujo, se sella el espacio comprendido entre la sonda y el registro.

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

Este flujo puede variar un poco durante la prueba entre punto y punto; el ajuste del flujo se realiza con la finalidad de estar lo más cerca posible del flujo isocinético.

Se anota la hora, volumen y presión en el medidor, así como la temperatura en los impactores, en cada punto de muestreo.

5.4. Una vez efectuado el muestreo en un punto, se mueve rápidamente la sonda al siguiente punto y se ajusta la succión, para tener el flujo deseado. Se repite este procedimiento en cada punto hasta terminar el tiempo total de muestreo para todo el puerto.

5.5. Se cierra la válvula reguladora de flujo, se detiene el cronómetro y se pasa la sonda al siguiente puerto repitiéndose el procedimiento hasta terminar con el tiempo total de muestreo y el número de puertos a muestrear.

5.6 Al completar la prueba, se cierra la válvula reguladora de flujo, se detiene la fuente de succión, se orienta la boquilla de muestreo en sentido del flujo y se registra el tiempo y volumen final del rotámetro.

Cuando se muestren gases calientes se debe empezar por el punto transversal más alejado del puerto y mover la sonda hacia afuera conforme se avanza en la prueba.

6. Para determinar la humedad de los gases se utilizó el método gravimétrico, mediante el agua condensada en los frascos impactores.

7 RECUPERACION DE MUESTRA

7.1. Tan pronto como la sonda se saca de la chimenea, se permite que ésta se enfríe hasta que esta pueda ser manejada con seguridad

7.2. Se limpia todo el material particulado externo que pueda aparecer cerca de la punta o en la sonda y se tapa la boquilla.

Antes de mover la sonda al lugar donde se va a limpiar, se quita la sonda del tren de muestreo y se limpia toda la grasa que pudiera haberse depositado.

7.3. Se quita el cordón umbilical de la caja de muestreo y se tapa la salida del impactor.

7.4 Se recupera el material particulado o cualquier condensado que pudiera encontrarse en la boquilla de la sonda, uniones, vidriería y desde la mitad del portafiltro hasta la entrada de este. Se enjuagan con acetona y se colocan los lavados en un recipiente.

Se quita la boquilla de la sonda y se lava la parte interna de ésta con acetona.

7.5. Se lava la línea de la sonda inclinándola y rotándola mientras se enjuaga con acetona desde la parte superior, se permita que toda la acetona sea drenada al recipiente, se puede utilizar un embudo para transferir el líquido de las botellas de lavado al recipiente.

Se cierran los recipientes se marca la altura del fluido para saber si no han ocurrido fugas durante el transporte, si esto ocurre el muestreo tiene que volverse a realizar..

7.6. De los otros tres impactores se hacen anotaciones de cualquier color o película atrapada en el líquido.

8. ANALISIS

8.1. Se pesa el filtro con una aproximación de 0.0001 g.

8.2 Del recipiente si no ha habido fugas del líquido se transfiere el contenido a un vaso de precipitado previamente pesado y se evapora hasta sequedad a temperatura y presión ambiente, se deseca el residuo por 24 hrs. y se pesa a peso constante hasta 0.01 g.

9. CALCULOS

9.1 Cálculo de la temperatura promedio de los gases en el rotámetro. Se calcula a partir de la suma de las temperaturas individuales leídas divididas entre el número de lecturas registradas (DE LA HOJA DE CAMPO PARA MUESTREO)

9.2 Contenido de humedad en la muestra

- Número de moles de agua :

$$\frac{\text{Diferencia del peso de impactores}}{\text{Peso molecular del agua}} \dots\dots\dots (5.5)$$

- VAC = Volumen de agua condensada

$$\text{Núm. de moles} \times 22.4 \text{ lt/gmol} \dots\dots\dots (5.6)$$

- Volumen de agua a condiciones normales del rotámetro:

$$\text{VACN} = \frac{P_n \times Tr + VAC}{Pr \times Tn} \dots\dots\dots (5.7)$$

- Volumen en el rotámetro a condiciones normales :

$$Vm = 0.3921 \text{ k/mmHg} \times Er \times Gr \times (Pr/Tr) \dots\dots\dots (5.8)$$

- Porcentaje de humedad

$$Y = \frac{\text{VACN}}{\text{VACN} + Vm} \times 100 \dots\dots\dots (5.9)$$

- Fracción de gas seco

$$\text{FGS} = 100 - Y/100 \dots\dots\dots (5.10)$$

9.3. Determinación del peso molecular en base húmeda

Considerando que no hay emisión de CO₂ y CO en la chimenea el peso molecular del gas se puede considerar igual al peso molecular del aire el cual es de 29 kg/kmol. más la corrección por humedad.

$$PM_h = \frac{PM_{H_2O} (\% H_2O)}{100} + \frac{PM_{CO_2} (\% CO_2)}{100} \frac{(100 - \% H_2O)}{100} + \frac{PM_{CO} (\% CO)}{100} \frac{(100 - \% H_2O)}{100} + \frac{PM_{O_2} (\% O_2)}{100} \frac{(100 - \% H_2O)}{100} + \frac{PM_{N_2} (\% N_2)}{100} \frac{(100 - \% H_2O)}{100} \dots \dots \dots (5.11)$$

Densidad normal de los gases a 273 K y 101.325 KPa

$$\rho_n = PM_n / 22.4 \dots \dots \dots (5.12)$$

9.4. PRESION DINAMICA:

Es la suma de las raices cuadradas de cada una de las presiones dinámicas, en los puntos seleccionados divididos entre el número de puntos totales.

$$\bar{\Delta P} = \frac{\sum_{i=1}^N (\Delta P_i)^{1/2}}{N} \dots \dots \dots (5.13)$$

9.5. VELOCIDAD MEDIA

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V = Kp * Ft * \bar{\Delta P} * Tch / (PM) (Pch) \dots \dots \dots (5.14)$$

Donde:

V = velocidad en m/s (ft/s)

$$Kp = 34.8983 \text{ m/s} \left(\frac{\text{g/mol}}{\text{ok}} \frac{\text{mmHg}}{\text{mmH}_2\text{O}} \right)^{1/2}, 85.49 \text{ ft/s} \left(\frac{\text{lb/lbmol}}{\text{R}} \frac{\text{Hg}}{\text{H}_2\text{O}} \right)^{1/2}$$

Ft = Factor de calibración del tubo pitot

Tch = Temperatura de gases del conducto en K (R)

PM = Peso molecular base húmeda g/gmol (lb/lbmol)

ΔP = Presión velocidad en mmH₂O ("H₂O)

Pch = Presión absoluta en el conducto en mmHg ("Hg) = Pbar + Pe

Pbar = Presión barométrica del lugar de muestreo

Pe = Presión estática en la chimenea

9.6. FLUJO DE GASES

Se calcula mediante la siguiente expresión : $F = V \cdot A$ (5.15)

Donde

V = Velocidad en m/s

A = Area del conducto en m²

9.7. Concentración de partículas en el conducto

Cálculo del peso residual de la acetona utilizada para los lavados

$$C_a = M_a / (V_a \times \rho_a) \dots\dots\dots (5.16)$$

Donde:

M_a = Masa residual de la acetona después de la evaporación.

V_a = Volumen de acetona procedente de los lavados.

ρ_a = Densidad de la acetona, mg/ml

Peso de residual de la acetona procedente de los lavados

$$W_a = C_a V_a \rho_a \dots\dots\dots (5.17)$$

El peso de material particulado es la suma del material captado en el filtro y los lavados con acetona menos el peso residual de la acetona

Concentración de material particulado:

$$C_s = \frac{M_p \text{ (mg)}}{V_m \text{ (m}^3\text{)}} \dots\dots\dots (5.18)$$

Gasto en el conducto :

$$G = \text{AREA DEL CONDUCTO} \cdot \text{VELOCIDAD DE LOS GASES} \dots\dots (5.19)$$

Emisión de partículas

$$EP = C_s \cdot G \dots\dots\dots (5.20)$$

10. MEMORIA DE CALCULO

10.1 DATOS PRELIMINARES

Diámetro equivalente del conducto

$$D = 0.432 \text{ m}$$

$$L = 0.5 \text{ m}$$

$$B = 0.38 \text{ m}$$

De la ecuación 5.1

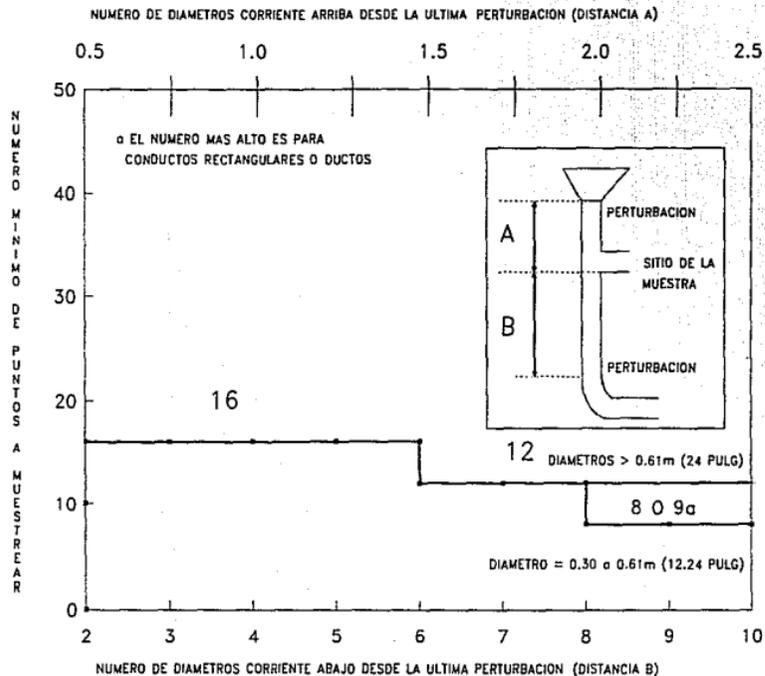
$$D = \frac{2 (50 \times 38)}{(50 + 38)} = 43.18 \text{ cm}$$

Como el diámetro equivalente se encuentra dentro de un intervalo de 0.30 y 0.61 m, nueve puntos con una matriz de 3 x 3 y tres puertos de muestreo serán suficientes según la GRAFICA (5.1) ²⁶, sin embargo los puertos existentes son cuatro, por lo que se trabajó con una matriz de 4 x 3 y 12 puntos a muestrear.

USO DE LA GRAFICA

- Se determina A y B
- Se determina N para cada distancia
- Se selecciona el mayor de los valores de N, cuando este no sea múltiplo de 4, se toma el siguiente número.

²⁶ NOM- AA-09-1991 Determinación del flujo de gases en un conducto por medio del tubo pitot. En Propuesta



GRAFICA 5.1

DATOS DEL CONDUCTO

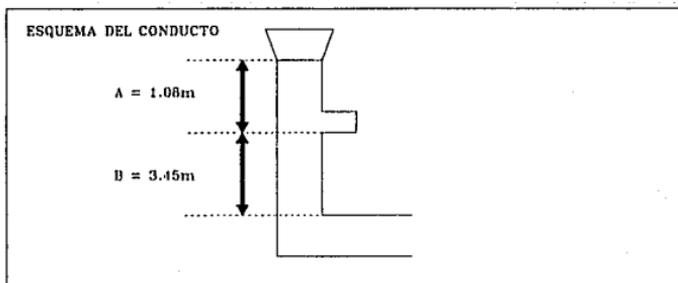
FECHA : 10/ENERO/1993

CONDUCTO Y PUERTOS DE MUESTREO

CORRIDA N. : 1

	SI	NO
1. SE CUENTA CON PUERTOS DE MUESTREO	X	
2. SE TIENE PLATAFORMA Y BARANDAL	X	
3. DIMENSIONES DEL CONDUCTO	50 x 38 cm	
4. GEOMETRIA DEL CONDUCTO	RECTANGULAR	
5. DISTANCIA A	2.5 DIAMETROS	
6. DISTANCIA B	8 DIAMETROS	
7. NUMERO DE PUERTOS	4	
8. DIMENSIONES DEL PUERTO	7 X 10 cm	
9. NUMERO DE PUNTOS A MUESTRAR	12	
10. MATRIZ	4 x 3	

PUNTO NUMERO	DISTANCIA (cm)
1	12.3
2	25.5
3	37.8



10.2 Cálculo del diámetro de la boquilla más adecuado para mantener un flujo isocinético. De la ecuación 5.2

$$[C] = 33 \text{ ft/seg} \cdot 60 \text{ s/min} \cdot 0.98 \cdot \frac{23.03 \text{ "Hg}}{29.92 \text{ "Hg}} + \frac{537 \text{ }^{\circ}\text{R}}{689.4 \text{ }^{\circ}\text{R}} = 1163.36 \text{ ft/min.}$$

$$\text{Area de boquilla} = (0.333 \text{ ft}^3/\text{min})/C$$

$$\text{Area de boquilla} = \frac{0.3333 \text{ ft}^3/\text{min}}{1163.36 \text{ ft/min}} = 0.0002864 \text{ ft}^2$$

$$\text{Diámetro de la boquilla} = \frac{0.0002864 \text{ ft}^2 \cdot 4}{3.1416} = 0.019 \text{ ft} \cdot \frac{12 \text{ pulg}}{\text{ft}}$$

$$\text{Diámetro de la boquilla} = 0.558 \text{ cm (0.22 pulg)}$$

Diámetro seleccionado = 3/16 pulg

Volumen a muestrear (De la ecuación 5.3-5.4):

$$\text{flujo en la boquilla} = 0.000192 \text{ ft}^2 \cdot 1163.36 \text{ ft/min} = 0.223 \text{ ft}^3/\text{min}$$

$$\text{volumen total a muestrear} = 0.223 \text{ ft}^3/\text{min} \cdot 60 \text{ min} = 13.38 \text{ ft}^3$$

Cumpliendo con el tiempo mínimo de muestreo de 1 hr se muestreará

12 puntos/60 min = 5 minutos/punto

Los resultados del muestreo se registraron en las Tablas 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4.

TABLA 5.1

PESO DE IMPACTORES

PESO	FRASCO IMPACTOR NUMERO					
	UNO (g)	DOS (g)	TRES (g)	CUATRO (g)	CINCO (g)	TOTAL (g)
FINAL	149.15	148.08	144.8	120.70	141.71	
INICIAL	147.71	147.52	144.05	120.55	140.07	
DIFERENCIA	1.44	0.56	-0.05	0.15	0.64	2.44

CONDICIONES NORMALES : TEMPERATURA (T_n) = 298 K
 PRESION (P_n) = 101,360 Pa

TEMPERATURA EN EL ROTAMETRO : (T_r) = 30.08 °C + 273 = 303.08 K

PRESION DE VACIO : (P_{va}) = 5 cmHg / 1.10 = 0.5 mmHg

PRESION EN EL ROTAMETRO : (P_r) = $P_{bar} - P_{va} = 585 - 0.5 = 584.5$ mmHg
 584.5 mmHg * 133 = 77758.5 Pa

GASTO EN EL ROTAMETRO : (G_r) = 10.50 ft³/hr * 0.02832 = 0.5239 m³/hr

TABLA N. 5.2

MATERIAL PARTICULADO COLECTADO EN EL FILTRO
Y EN LOS LAVADOS CON ACETONA

PESO FINAL DEL FILTRO	PESO INICIAL DEL FILTRO	MATERIAL COLECTADO
0.1882 mg	0.1856 mg	0.0026 mg
PESO DE LOS RESIDUOS PROCEDENTES DE LOS LAVADOS	0	0.0
	TOTAL	0.0026 mg

TABLA 5.3

CALCULO DEL FLUJO DE LA CORRIENTE GASEOSA

FECHA: 10 de enero de 1995

TUBO DE PITOT No 9208 GCS FACTOR DEL TUBO PITOT (C_F): 0.774

TEMPERATURA DEL GAS (T_g): 108 °C . 273 = 381 K

PRESION ESTATICA (PE) : 0.03 "H₂O. x 1.8681 = 0.05604 mmHg

PRESION BAROMETRICA : 585 mmHg PRESION EN LA CHINENA: 585.056 mmHg

PUNTO	PUERTO	ΔP "C. A. x 25.4 =	ΔP mm.C.A	√ΔP
1	A	0.06	1.524	1.2345
2	A	0.07	0.508	0.7127
3	A	0.04	1.016	1.009
1	B	0.16	4.064	2.0159
2	B	0.17	4.318	2.0178
3	B	0.17	4.318	2.078
1	C	0.18	4.572	2.1378
2	C	0.22	5.588	2.3638
3	C	0.22	5.588	2.3638
1	D	0.22	5.588	2.3638
2	D	0.20	5.080	2.2540
3	D	0.17	4.318	2.0780
SUMA				22.6712

NUMERO DE PUNTOS = 12

$\sqrt{\Delta P} = 1.8915$

10.3 MEMORIA DE CALCULO DEL MUESTREO

Contenido de humedad en la muestra (De la ecuación 5.5)

- Número de moles de agua colectada :

$$\frac{2.94 \text{ g}}{18.0 \text{ g/gmol}} = 0.1633 \text{ gmol}$$

- Volumen de agua condensada (de la ecuación 5.6)

$$\text{VAC} = 0.1633 \text{ mol} \cdot 22.4 \text{ lt/mol} = 3.6586 \text{ lt}$$

- Volumen de agua a condiciones normales del rotámetro (De la ecuación 5.7):

$$\text{VACN} = \frac{101360 \text{ Pa} \cdot 303.08 \text{ K} \cdot 3.6586 \text{ lt}}{77738.5 \text{ Pa} \cdot 298 \text{ K}} = 4.85 \text{ lt}$$

- Volumen en el rotámetro a condiciones normales (De la ecuación 5.8):

$$\text{Vm} = 0.3921 \text{ k/mmHg} \cdot 0.7519 \cdot 0.5239 \text{ m}^3 \cdot (584.5 \text{ mmHg}/303.08 \text{ K})$$

$$\text{Vm} = 0.2978 \text{ m}^3/\text{hr}$$

- Porcentaje de humedad (De la ecuación 5.9)

$$Y = \frac{4.85 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{(4.85 \times 10^{-3} + 0.2978) \text{ m}^3} = 1.602 \%$$

- Fracción de gas seco (De la ecuación 5.10)

$$\text{FGS} = (100 - 1.60)/100 = 0.9839$$

Determinación del peso molecular en base húmeda (De la ecuación 5.11)

Considerando que no hay emisión de CO₂ y CO en la chimenea el peso molecular del gas se puede considerar igual a el peso molecular del aire el cual es de 29 kg/kgmol. Únicamente se hará una corrección por humedad.

$$\text{PM}_h = \frac{18 \text{ g}}{\text{gmol}} \frac{(1.602)}{100} + \frac{32 \text{ g}}{\text{gmol}} \frac{(21)}{100} \frac{(100-1.60)}{100} + \frac{28 \text{ g}}{\text{gmol}} \frac{(79)}{100} \frac{(100-1.60)}{100}$$

$$PM_h = 0.29 + 6.6 + 21.76 = 28.66 \text{ g/gmol}$$

Densidad normal de los gases a 273 K y 101.325 kPa (De la ecuación 5.12)

$$\rho^n = \frac{28.66 \text{ g/gmol}}{22.4 \text{ lt/gmol}} = 1.28 \text{ g/lt}$$

HOJA DE CALCULO DEL ISOCINETISMO

FECHA: 10/ENERO/93

DATOS DE OPERACION:

VOLUMEN PROMEDIO INDICADO POR EL ROTAMETRO : 0.5239 m³

TEMPERATURA PROMEDIO DEL MEDIDOR (Tm) : 303.68 K

TEMPERATURA PROMEDIO EN LA CHIMENEA (Tch) : 381 K

PRESION EN LA CHIMENEA (Pch) : 585.056 mmHg

PRESION EN EL MEDIDOR (Pr) : 584.5 mmHg

PESO MOLECULAR DEL GAS BASE HUMEDA (PM) : 28.65 g/gmol

FRACCION DE GAS SECO (FGS) : 0.9839

AREA DE BOQUILLA (Ab) : 0.0000178 m² FACTOR DEL TUBO PITOT : 0.774

TIEMPO TOTAL DE MUESTREO (Tm) : 1 hr. FACTOR DEL ROTAMETRO : 0.7519

CALCULO DEL VOLUMEN QUE PASA POR LA BOQUILLA A CONDICIONES DE CHIMENEA:

VNC = fr * VOLUMEN PROMEDIO INDICADO POR EL MEDIDOR ($\frac{G}{T}$) m³/hr

VNC = 0.7519 * 0.5239 m³/hr = 0.3939 m³

CN = (Tch/Tr) (Pr/Pch) = (381/303.68) * (584.5/585.0569) = 1.259

VCH = (VNC * CN)/FGS = (0.3939 m³/hr * 1.259)/0.9839 = 0.504 m³/hr

CALCULO DE LA VELOCIDAD PROMEDIO CORREGIDA: (Ecuación 5.14)

VPC = 34.97 m/s * 0.774 * $\frac{381 \text{ K}}{28.65 \text{ g/gmol} * 585.056 \text{ mmHg}}$ = 1.8913

VPC = 7.717 m/s

ISOCINETISMO

% ISOCINETISMO = VCH / (Ab * Tm * VPC)

% ISOCINETISMO = $\frac{0.504 \text{ m}^3}{0.0000178 \text{ m}^2 * 3600 * 7.717 \text{ m/s}}$ * 100 = 101.93 %

Concentración de partículas en el conducto (Utilizando los datos de la TABLA 5.4)

$$C_s = \frac{0.0026 \text{ mg}}{0.2978 \text{ m}^3} = 0.0087 \text{ mg/m}^3$$

Gasto en el conducto :

$$G = 0.19 \text{ m}^2 * 7.717 \text{ m/s} * 3600 \text{ s/hr} = 5278.42 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Emisión de partículas : $C_s * G$

$$\text{Emisión de partículas} = 0.0087 \text{ mg/m}^3 * 5278.42 \text{ m}^3/\text{hr} * \frac{1 \text{ kg}}{1,000,000 \text{ mg}}$$

$$EP = 4.961 \text{ E-05 kg/hr}$$

RESULTADOS DE LA EVALUACION

RESUMEN

FECHA DE EVALUACION : 10 DE ENERO DE 1993

DIAMETRO DEL DUCTO : 0.4318 m

TEMPERATURA PROMEDIO DE LOS GASES EN LA CHIMENEA : 381 K

COMPOSICION DE LOS GASES (% VOLUMEN) :

CO₂ ... 0.00 CO ... 0.00

O₂ ... 21 N₂ ... 79

FLUJO VOLUMETRICO DE LOS GASES :

ACTUAL 0.5239 m³/hr

NORMAL 0.504 m³/hr

VELOCIDAD DE LOS GASES : 7.717 m/s

ISOCINETISMO OBTENIDO : 101.91 %

PARAMETRO OBTENIDO : MATERIAL PARTICULADO

EMISION : 4.961 E-05 kg/hr

CONCLUSIONES

La calibración del equipo se llevó a cabo de acuerdo a las especificaciones establecidas por las Normas Oficiales Mexicanas y extranjeras (EPA) , en un conducto cuyo flujo es constante y a una distancia tal que no existen perturbaciones .

De los resultados de la calibración de cada parte del equipo piloto que requiere de esta, se puede concluir :

1. La precisión del dispositivo para determinar la velocidad de los gases (Tubo pitot tipo "S") es de un 70% con respecto a uno cuyas dimensiones son exactas y además tiene una precisión del 100% , es por esto que al valor obtenido con el Tubo Pitot del equipo piloto se tiene que multiplicar por un factor de corrección.

2. La calibración de las boquillas no presentan gran problema , pues esta solo consiste en una revisión minuciosa del material de construcción y daños que este último pueda presentar por el uso.

3. Respecto al medidor de flujo (rotámetro) este tiene una precisión de un 75% aproximadamente y a los resultados obtenidos con este rotámetro tendrá que aplicarse un factor de corrección .

En general la precisión del equipo es confiable , esto se concluye porque los resultados obtenidos con él, se compararon con los obtenidos por un equipo cuya construcción y mantenimiento cumple en forma rigurosa con las Normas Oficiales Mexicanas y extranjeras, además el equipo piloto es capaz de mantener un flujo isocinético en un intervalo de $90 \pm 10\%$, si la velocidad de los gases se encuentra entre 13.25 - 29.83 m/s.

Las conexiones con mangueras de plástico que se utilizan después de la sección de condensación ofrecen una muy buena hermeticidad en el equipo, con lo que se disminuye los errores debido a las infiltraciones.

Con la evaluación de material particulado, condiciones del flujo y humedad que se llevó a cabo con el equipo piloto, se observó que el rotámetro no es el medidor de flujo óptimo; la escala y la repetitividad de 5 con la que este cuenta es muy grande, si se toma en cuenta que el volumen máximo que maneja el equipo está a un 83.3% de la capacidad del medidor de flujo; que para una determinación como las que se requieren para evaluar la eficiencia de un equipo no sería válida. Esto se puede resolver cambiando el rotámetro por uno cuya escala tenga una repetitividad de 1 o bien por una placa de orificio con un manómetro cuya repetitividad generalmente es de 1%.

Sin embargo cabe recordar que una placa de orificio o cualquier otro medidor de flujo cuya restricción es fija tienden a obstruirse fácilmente, requieren de tramos rectos extras de tubería y la precisión en la lectura no es directa, esta tiene que realizarse en el sensor de presión diferencial.

El equipo por su peso y tamaño es fácil de operar y transportar, lo que nos resulta de mucha ayuda sobre todo cuando las determinaciones se realizan en plataformas muy elevadas.

Este equipo en un principio se seleccionó para la determinación de material particulado, pero por la capacidad de la bomba de vacío y el tamaño del filtro o área de filtración no se recomienda que se utilice cuando la cantidad de material particulado o el tamaño de la partícula es grande, pues la cantidad de material que el equipo puede capturar es muy pequeña y por lo tanto la determinación será poco precisa, por otra parte

esto aumenta las pérdidas por fricción y la bomba de vacío no será capaz de mantener un flujo isocinético, por esta razón el equipo funciona perfectamente cuando lo que se desea evaluar son gases, ya que en este caso de no llevarse a cabo el muestreo en forma isocinética la evaluación no se ve afectada en su representatividad .

El equipo puede ser utilizado en los ductos o chimeneas de industrias cuyas emisiones contengan compuestos clorados , dióxido de azufre, trióxido de azufre y neblinas de ácido sulfúrico, ácido fosfórico y para la determinación de la humedad de la corriente gaseosa, siempre y cuando los gases que están siendo colectados estén a una temperatura mayor que la temperatura de condensación, de lo contrario el condensado se deposita en la sonda y no llega a la sección de condensación, que es el sitio donde es cuantificado. Este problema se puede solucionar colocando un sistema de calentamiento alrededor de la sonda.

En la actualidad un equipo similar al equipo piloto tiene un valor de 5 veces el costo del equipo piloto que se menciona en esta tesis, la diferencia entre este y el equipo normal radica en que el flujo, el área de filtración, y la capacidad en volumen de los impactores es diez veces mayor , el peso del equipo piloto es cinco veces menor que el de los equipos con los que actualmente se trabaja ; las partes de que consta cada uno se mencionan en el Tercer Capítulo.

Por lo que respecta a los requerimientos de energía, la diferencia no es muy grande , la potencia del motor del equipo piloto es de 1/4 de HP y la de los equipos normales varía entre 1/4 y 1 HP aún así el consumo de energía no debe incluirse en los costos , porque esta es proporcionada por el cliente.

En las siguientes páginas se presenta una comparación de costos por hora de equipo de los que se concluyó que los cargos fijos se elevan tres veces,

los cargos por consumo 1.3 veces , los cargos por operación permanecen constantes porque el número de técnicos no se puede reducir .

Con todo esto el costo directo por hora de equipo y el costo por evaluación se ve incrementado en 1.3 veces.

El equipo piloto no se puede utilizar para cumplir con todas las Normas Oficiales Mexicanas, pero resulta más económico y práctico para evaluaciones preliminares o bien para determinar la eficiencia de un dispositivo ya instalado para el control de contaminates.

Lo que resulta en una mayor utilidad o bien en un mercado más competitivo para aquellas empresas en el ramo del Control y Evaluación de Contaminates.

300 DIAS

REACTIVO	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	TOTAL
ACETONA	0.5	lt.	27.865	N\$ 13.93
AGUA DESTILADA	4.0	lt.	0.6	N\$ 2.40
FILTRO	2	PZA	14.26	N\$ 28.52
		SUBTOTAL		N\$ 44.85

SUSTANCIA PARA EL ORSAT :

ACIDO PIROGALICO	10	g	1.66	N\$ 16.67
KOH	126	g	0.112	N\$ 13.94
CLORURO CUPROSO	12	g	0.396	N\$ 4.75
ACIDO CLORHIDRICO	0.2	lt	21.10	N\$ 4.22
AGUA DESTILADA	0.4	lt	0.60	N\$ 0.24

SUBTOTAL/300 = N\$ 39.82/90 = N\$ 0.13

SUMA DE CARGOS CONSUMO POR HORA N\$ 112.18

III CARGOS POR OPERACION

OPERADOR 2 TECNICOS * N\$ 1,500.00/MES = N\$ 3,000 * 1.61 = N\$ 4,830.00
1 INGENIERO * N\$ 2,250.00/MES = N\$ 2,250 * 1.61 = N\$ 3,622.50
Salario por hora promedio So /20 días/mes = N\$ 8,452.50/20 = N\$ 422.62
Horas por turno promedio H = 8 horas * 0.75 (factor de rendimiento) = 6 horas
Operación = So/H = N\$ 422.66/ 6 = N\$ 70.44

SUMA DE CARGOS DE OPERACION POR HORA = N\$ 70.44

COSTO DIRECTO POR HORA DE EQUIPO N\$ 202.38

Para llevar acabo una evaluación se requiere de 8 hrs, es decir de un turn completo o un día.

COSTO DIRECTO	=	N\$ 1619.07	
REPORTE TECNICO 65%	=	1052.39	
COSTOS INDIRECTOS 80%	=	1295.25	
SUMA	=	<u>3,999.71</u>	
UTILIDAD 10%	=	399.97	
SUMA	=	<u>N\$ 4,363.38</u>	POR EVALUACION

BIBLIOGRAFIA

1. American Conference of Governmental Industrial Hygienists 1992 Cincinnati, Ohio 45 211 U.S.A.
2. Blosser, O. Russell Gellman, Isaiah Current Approaches to Measurement of Particulate Emissions from Wood Pulping Operations Aiche No 137 Vol. 70 pp 294-298
3. Brink, J.A. Cascade Impactor for Adiabatic Measurements, Industrial and Engineering Chemistry , 50 , Abril, 1958 pp 645-648
4. Brink, A. Joseph Kennedy, D. Eugene Yu, S. Henry 1972 Particulate Measurements with Cascade Impactors Aiche No. 137 Vol. 70 pp 333-340
5. Coughlin, Robert W. 1975 Physicochemical Aspects of Sampling Particulates Aiche No. 137, Vol 70 pp 273-276
6. EPA Method 1 Estados Unidos
Sample and velocity Transverses for Stationary Sources
7. EPA Method 2 Estados Unidos
Determination of Stack Gas Velocity And Volumetric Flow Rate Type S Pitot Tube
8. EPA Method 4 Estados Unidos
Determination of Moisture Content in Stack Gases

9. EPA Method 5 Estados Unidos

Determination of Particulate Emissions from Stationary Sources

10. Holland, F.A. Fluid Flow for Chemical Engineers Edward Arnold (Publishers)

Ltd. London 1973 pp 139-154

11. Mezei, L. Laboratory Lotus a complete guide to Instruments Interfacing

Prentice Hall U.S.A. 1989 pp 288

12. Morris, B. Jacob The Chemical Analysis of Air Pollutans Interscience

Publishers, INC., New York U.S.A. 1960 Cap. 7

13. Nacif Narchi, José Ingeniería de Control Automático La Ilustración,

S.A. México 1970 Vol. I

14. NOM AA-09-1973 México

Determinación del Flujo de Gases en un Conducto por medio del Tubo Pitot

15. NOM AA-10-1980 México

Determinación de la Emisión de Partículas Sólidas Contenidas en los Gases que fluyen por un Conducto

16. NOM AA-23-1986 México

Protección al Ambiente Contaminación Atmosférica Terminología

17. NOM AA-35-1976 México

Determinación de Dióxido de carbono, Monóxido de Carbono y Oxígeno en los Gases de Combustión

18. NOM AA-54-1978 México

Determinación del Contenido de Humedad en los Gases que fluyen por un Conducto - Método Gravimétrico -

19. NOM AA-85-1986 México

FUENTES FIJAS GASOMETRO HUMEDO - CALIBRACION - METODO DE SIFONEO

20. NOM-AA-86-1986 México

Rotámetros Calibración

21. NOM-AA-106-1987 México

Determinación del diámetro Máximo de poro en filtros rígidos y de membrana en función de la presión.

22. Patten, W.F. Brink, J.A. New Equipment and Techniques for Sampling

Process Gases Journal of Air Pollution Control Association, 13, 162,

1963

23. Painter, E. Dean Air Pollution Technology U.S.A. Reston Publishing Company

Reston Virginia 1974 pp 132-147

24. Tommay, P. James Air Pollution, the Emission, the regulations and

the Controls American Servier Publishing Co., INC New York 1975

pp 11-16,65-87

25. William, Andrew G. Applied Instrumentation in the Process Industries VOL

I Gulf Publishings Co. Houston Tx. 1974 pp 70-90