



**SECRETARIA DE COMERCIO**

**Y**

**FOMENTO INDUSTRIAL**

**NORMA MEXICANA**

**NMX-AA-054-1978**

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

*DETERMINATION OF MOISTURE CONTENT IN GASES FLOWING  
THROUGH A DUCT GRAVIMETRIC METHOD*

**DIRECCION GENERAL DE NORMAS**

## PREFACIO

En la elaboración de esta Norma participaron las siguientes Instituciones:

SECRETARIA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA  
SUBSECRETARIA DE MEJORAMIENTO DEL AMBIENTE  
DIRECCION GENERAL DE SANEAMIENTO ATMOSFERICO

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA BASICA  
LABORATORIO

FERTILIZANTES MEXICANOS, S.A.  
SUBGERENCIA DE INVESTIGACION

CAMARA NACIONAL DEL CEMENTO

CONFEDERACION DE CAMARAS INDUSTRIALES DE LOS  
ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

TECNICOS EN AIRE, S.A.

ASOCIACION NACIONAL DE LA INDUSTRIA QUIMICA, A.C.

INDUSTRIAS RESISTOL, S.A.

CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE TRASFORMACION  
DEPARTAMENTO DE NORMAS Y CONTROL DE CALIDAD  
DEPARTAMENTO DE MEJORAMIENTO DEL AMBIENTE

INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL  
JEFATURA DE CONSERVACION

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

DETERMINATION OF MOISTURE CONTENT IN GASES FLOWING  
THROUGH A DUCT GRAVIMETRIC METHOD

1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma establece el método gravimétrico para determinar la humedad contenida en los gases que fluyen por un conducto.

En el caso de corrientes gaseosas sobresaturadas de agua se determina el contenido total.

2 REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con la Norma Oficial Mexicana en vigor, siguiente:

NOM-AA-010 Norma Oficial Mexicana para determinar la emisión de partículas sólidas contenidas en los gases que se descargan por un conducto

3 DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma se establece la siguiente definición:

3.1 Humedad

Masa de vapor de agua contenida en el gas por unidad de masa de gas seco.

4 SIMBOLOS Y ABREVIATURAS

H Peso total de humedad, en gramos.

M<sub>1</sub> Peso inicial del sistema de captación, expresado en gramos.

M<sub>2</sub> Peso final del sistema de captación, expresado en gramos.

n Número de moles.

VAC Volumen de agua condensada y absorbida, a condiciones de referencia expresado en litros.

- $P_1$  Presión de referencia 101 360 Pa (760 mm de Hg).
- $P_2$  Presión absoluta del gasómetro, expresado en Pa, o en mm de Hg
- $T_1$  Temperatura de referencia 273 K (0° C)
- $T_2$  Temperatura del gasómetro en K.
- $V_2$  Volumen del vapor de agua a condiciones del gasómetro expresado en litros
- $V_{gc}$  Volumen registrado por el gasómetro corregido por su factor de calibración, expresado en litros.
- $P_v$  Presión de vapor de agua a la temperatura del gasómetro (Ver tabla No.1), expresado en Pa ó en mm de Hg
- $P_m$  Presión manométrica ejercida en el lado de succión del gasómetro, expresada en Pa ó en mm de Hg.
- $V_c$  Volumen del agua condensada, en el condensador, a condiciones del gasómetro, expresado en litros.
- $P_b$  Presión barométrica correspondiente al lugar en que se realice el muestreo (Ver tabla No. 2), expresada en Pa o en mm de Hg
- $V_a$  Volumen del agua arrastrada por los gases a través del gasómetro, expresado en litros.

## 5 FUNDAMENTO

Se basa en el pesado del agua obtenida por la condensación y adsorción del vapor de agua contenido en la corriente gaseosa.

## 6 REACTIVOS

### 6.1 Sustancias absorbentes

Cloruro de Calcio Anhidro ó Gel de Sílice preferentemente provista de indicador de humedad (ver apéndice A 1).

### 6.2 Sustancias refrigerantes: Agua, hielo ó amoniaco ( ver apéndice A 1).

## 7 APARATOS Y EQUIPO

7.1 Sonda de muestreo

Tubo de acero inoxidable, o de vidrio refractario cuyo diámetro debe ser de 8 a 10 mm.

7.2 Medio filtrante

Para su selección ver inciso 5.3.1 de la Norma Oficial Mexicana en vigor NOM-AA-010

7.3 Cámara calefactora

Medio de calentamiento con capacidad suficiente para mantener la temperatura de los gases a 105° C antes de llega al medio de enfriamiento.

7.4 Condensador

Medio de enfriamiento que en algunos casos puede ser suplementario, complementario u opcional.

7.5 Impactores o frascos lavadores

Frascos con capacidad de 500 cm<sup>3</sup> cada uno.  
Se requiere un mínimo de tres.

7.6 Rotámetro previamente calibrado, cuyo intervalo de medición esté de acuerdo con las condiciones de muestreo

7.7 Gasómetro seco

Con capacidad mínima de 100 litros por minuto provisto de termómetro y manómetro con las características señaladas en el inciso 3.1. 5.2. de la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-010 en vigor.

7.8 Fuente de succión

De capacidad suficiente para vencer las fricciones del tren de muestreo y para mantener un gasto mínimo de 150 litros por minuto.

7.9 Válvula de regulación de flujo.

7.10 Conexiones flexibles a prueba de fugas

7.11 Balanza Granataria.

7.12 Cronómetro.

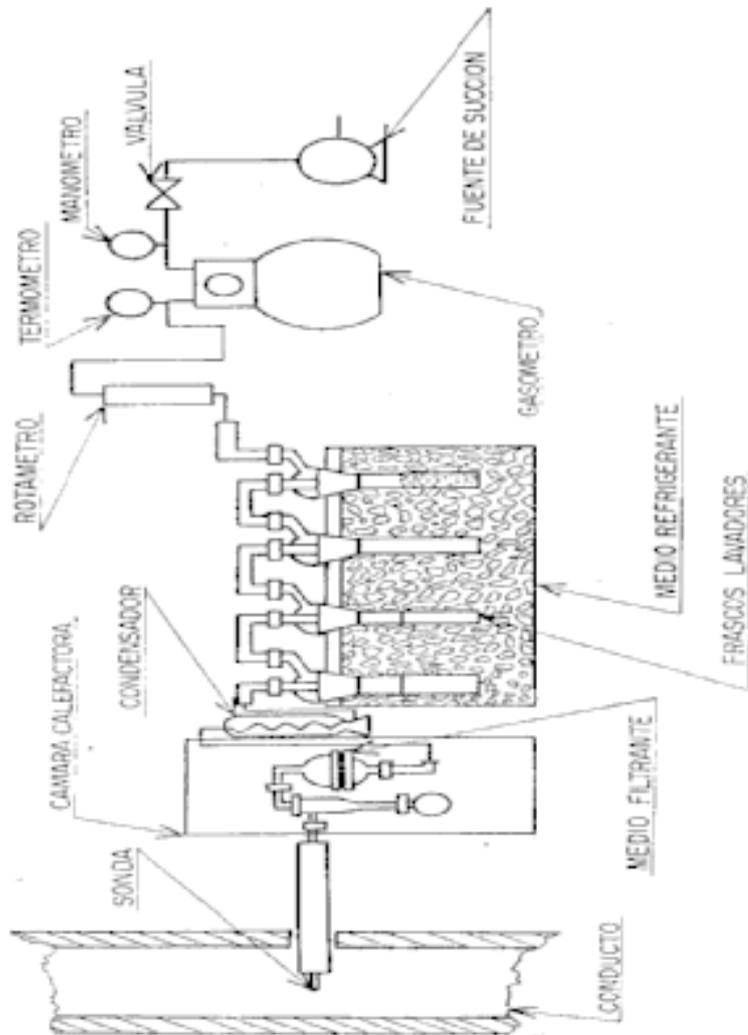
8 PROCEDIMIENTO

8.1 Preparación del tren de muestreo

8.1.1 Poner en el primer frasco 100 cm<sup>3</sup> de agua destilada, dejar el segundo frasco vacío, en el tercer frasco y en los adicionales cuando se utilicen, poner en cada uno aproximadamente 175 g de gel de sílice previamente secada a 125° C.

8.1.2 Pesar cada uno de los frascos preparados según 8.1.1 y registrar la suma de los valores obtenidos, como M<sub>1</sub>.

8.1.3 Utilizar las conexiones flexibles para montar el tren de muestreo de acuerdo a la figura No. 1



TREN DE MUESTREO

8.1.4 Verificar la hermeticidad colocando un tapón en la entrada de la sonda de muestreo, haciendo funcionar la fuente de succión hasta que la lectura del manómetro llegue a su valor máximo estable. Cerrar la válvula de regulación de flujo, después de lo cual la lectura del manómetro no debe variar, de lo contrario será indicativo de que existen fugas, las que se deben localizar y eliminar.

8.2 Colección de la muestra

8.2.1 Poner a funcionar el medio de calentamiento hasta que se alcance una temperatura estable de 105° C.

8.2.2 Sin accionar la fuente de succión colocar la sonda en el punto seleccionado para la extracción de la muestra.

8.2.3 Poner a funcionar la fuente de succión y muestrear a un gasto de 10 a 25 litros por minuto, hasta obtener una cantidad de muestra tal, que casi sature el medio absorbente.

8.2.4 Durante el muestreo tomar un mínimo de 3 lecturas de la temperatura y de la presión existentes en el gasómetro (Ver apéndice A3)

8.3 Recuperación de la muestra

Desmontar los frascos lavadores y obtener su peso, registrando la suma de los mismos como valor M<sub>2</sub>.

9 CALCULOS

9.1 Obtener el peso total de humedad H mediante la fórmula:

$$H = M_2 - M_1 \dots\dots\dots(1)$$

9.2 Determinar el número de moles ( n ) a que equivale la humedad colectada, dividiendo el peso total H entre el peso molecular del agua.

$$n = \frac{H}{18} \dots\dots\dots(2)$$

9.3 Multiplicar el valor obtenido en el inciso 9.2 por 22. 4, para obtener el valor VAC, que es el volumen del vapor a que equivale el agua condensada y absorbida, a condiciones de referencia, 273 K y 101 360 Pa (0°C, 760 mm de Hg).

$$VAC = n \times 22.4 \dots\dots\dots(3)$$

9.4 Calcular el valor obtenido con (3) y en las condiciones a que se encuentra el gasómetro, mediante:

$$V_2 = \frac{P_1 T_2 VAC}{P_2 T_1} \dots\dots\dots(4)$$

9.5 Calcular el porcentaje en volumen de la humedad, en relación al volumen total de los gases que circulan por el conducto, mediante:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{V_2}{V_{gc} + V_2} \times 100 \dots\dots\dots(5)$$

## 10 CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

No existe norma internacional al respecto por lo que la presente norma no concuerda con ninguna.

## 11 BIBLIOGRAFIA

11.1 1972 Annual Book of ASTM Standard American Society for Testing and Materials. Part 23. Philadelphia Pa. 1972. 852-878

11.2 Cooper H.B.H Rossano Jr Source Testing for Air Pollution Control. McGraw- Hill Book Company. Washington D.C.1974. 23-46

11.3 Brenchley D.L. Turley C.A. and Yarmac R.F. Industrial Source Sampling. Ann Arbor Science. Michigan 1973. 119-125

11.4 Guía para muestreo isocinético (edición 1973) Ing. David Barrón Orozco

11.5 U.S. Code of Federal Regulation, Title 40 Protection of Environment. Part 60 appendix A. Ref. Method 4. Rev. 14/July 1976.

## APENDICE A

A.1 Se pueden utilizar otras sustancias absorbentes y refrigerantes siempre y cuando los resultados que se obtengan sean equivalentes.

A.2 En la práctica frecuentemente se presentan procesos en los que se puede utilizar únicamente un serpentín de condensación y omitir los frascos lavadores, en cuyo caso se debe obtener la humedad arrastrada hacia el gasómetro, utilizando la siguiente ecuación:

$$V_a = \frac{(P_v) \times (V_{gc})}{P_b - P_m} \dots\dots\dots(6)$$

El porcentaje de humedad se calcula con la fórmula:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{V_c + V_a}{V_c + V_{gc}} \times 100 \dots\dots(7)$$

A.3 El número de lecturas de la temperatura y de la presión del gasómetro dependen de las fluctuaciones que se presentan en estas variables durante el muestreo.

APENDICE B

B.1 Ejemplo de cálculo. En las mediciones realizadas en cierto proceso, no se utilizó el tren de frascos lavadores, solo se empleó un serpentín de condensación y se obtuvieron los siguientes datos iniciales:

Peso del serpentín  $M_1 = 300 \text{ g}$

Peso del serpentín con el agua condensada  $M_2 = 600 \text{ g}$

Aplicando la fórmula (1 ) se tiene:

$$H = 600 - 300 = 300 \text{ g}$$

Aplicando la fórmula (2) tenemos:

$$n = \frac{300}{18} = 16.67 \text{ moles}$$

Mediante la fórmula (3) obtenemos:

$$VAC = 16.67 \times 22.4 = 373.41 \text{ litros (a condiciones de referencia)}$$

para obtener  $V_2$  aplicamos la fórmula (4):

$$V_2 = \frac{P_1 \times T_2 \times VAC}{P_2 T_1} = \frac{760 \times T_2 \times 373.41}{(760 - P_m) \times 273}$$

La presión manométrica correspondiente al gasómetro fue de 180.3 mm de mercurio y la temperatura correspondiente al gasómetro fue de 21.6 °C por lo tanto sustituyendo valores se tiene:

$$V_2 = 528.28 \text{ litros.}$$

Utilizando la fórmula (6) se calcula el agua arrastrada hacia el gasómetro.

En este caso: la presión de vapor de agua correspondiente a la temperatura del gasómetro de 21.6°C (ver tabla No. 1) es de  $P_v=19.34$  mm de mercurio.

El gasto total medido en el gasómetro fue de:

$V_{gc}= 2227$  litros

La altura sobre el nivel del mar, del lugar en que se efectuó el muestreo fue de 2300 m, a la cual corresponde una presión barométrica  $P_b = 574.56$  mm de Hg

Sustituyendo valores en (6) tenemos:

$$V_a = \frac{19.34 \times 2227}{574.56 - 180.3} = 109.24 \text{ litros}$$

Sustituyendo valores en (7) se obtiene:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{528.28 + 109.24}{528.28 + 2227} \times 100 = 23.13\%$$

que es el % en volumen de la humedad en relación al volumen total de los gases que circulan por el conducto.

T A B L A No. 1

PRESIONES DE VAPOR DE AGUA A DIFERENTES TEMPERATURAS

TEM. °C	PRESION DE VAPOR DE - AGUA mm HG	TEM. °C	PRESION DE VAPOR DE - AGUA mm HG	TEM. °C	PRESION DE VAPOR DE - AGUA mm HG
0	4.6	65	187.3	205	12914.0
2	5.3	70	233.5	210	14289.4
4	6.1	75	288.9	215	15778.1
6	7.0	80	355.1	220	17386.6
8	8.0	85	433.5		
10	9.2	90	525.8		
12	10.5	95	634.0		
14	11.9	100	760.0		
16	13.6	105	906.1		
18	15.5	110	1074.4		
20	17.5	115	1267.8		
22	19.8	120	1488.9		
24	22.3	125	1740.4		
26	25.1	130	2025.6		
28	28.2	135	2347.4		
30	31.7	140	2709.6		
32	35.5	145	3115.6		
34	39.7	150	3568.7		
36	44.4	155	4073.2		
38	49.5	160	4633.7		
40	55.1	165	5252.9		
42	61.3	170	5936.3		
44	68.0	175	6688.7		
46	75.4	180	7513.9		
48	83.5	185	8417.1		
50	92.3	190	9404.2		
55	117.8	195	10478.7		
60	149.2	200	11646.7		

NOTA: Un pascal =  $74.98 \times 10^{-4}$  mm de Hg.

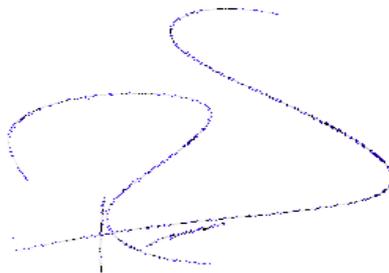
TABLA No. 2

DATOS DE PRESIONES BAROMETRICAS CON SUS ALTURAS  
CORRESPONDIENTES

ALTURA m	PRESION BAROMETRICA mm Hg	ALTURA m	PRESION BAROMETRICA mm Hg
0	760.00	2 100	589.00
100	751.20	2 200	581.78
200	742.39	2 300	574.56
300	733.59	2 400	567.33
400	724.79	2 500	560.11
500	715.99	2 600	553.25
600	707.61	2 700	546.40
700	699.23	2 800	539.52
800	690.85	2 900	532.65
900	682.47	3 000	525.79
1000	674.09	3 100	519.27
1100	666.11	3 200	512.75
1200	658.13	3 300	506.23
1300	650.14	3 400	499.71
1400	642.16	3 500	493.19
1500	634.18	3 600	487.00
1600	626.59	3 700	480.82
1700	619.00	3 800	474.63
1800	611.41	3 900	468.45
1900	603.82	4 000	462.26
2000	596.23		

México, D.F., Julio 21, 1978

EL C. DIRECTOR GENERAL DE NORMAS



DR. ROMAN SERRA CASTAÑOS

Fecha de aprobación y publicación: Agosto 02, 1978