

UTILIZACION Y MANEJO DE UN IMPACTADOR DE CASCADA ANDERSEN EN EL ESTUDIO DE LOS AEROSOLES ATMOSFERICOS

J. Ortiz, M. Préndez y S. Solezzi.

Departamento de Ciencias Formativas, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas,
Casilla 233 Santiago.

Departamento de Química, Universidad de Tarapacá, Casilla 747 Arica.

SUMMARY

In this work the utilization of an Andersen cascade impactor for the study of atmospheric aerosols is analyzed.

The impactor is run at 4.7 cfm during 24 h, fractionating the particulate matter into five sizes, from 2.84 to 0.41 μm . This permits both the study of massize distribution and the chemical analysis of some elements (Pb, Cu, Ni, Zn, Fe, Mg, etc.) and compounds (SO_4 , Cl^- , NO_3 , etc.).

The utilization of Log-Normal distribution to mass-size distribution is studied in order to characterize atmospheric aerosols by two statistical parameters: aerodynamic mass median diameter (MMD) and geometric standard deviation (σ). The method of obtention of these parameters was optimized.

RESUMEN

En el presente trabajo se analiza la utilización de un impactador de cascada Andersen en el estudio de los aerosoles atmosféricos. El impactador se opera a un flujo de 4,6 cfm durante 24 h, lo cual permite fraccionar las partículas en cinco diámetros en el rango de 2,84 a 0,41 μm de diámetro y acumular suficiente material particulado para determinar, la distribución masa-tamaño de partícula y realizar el análisis químico de ciertos elementos traza (Pb, Cu, Ni, Zn, Fe, Mg, etc.) y de algunos compuestos (SO_4 , Cl^- , NO_3 , etc.).

Se estudia la aplicación de la distribución Log-Normal a la distribución masa-tamaño de partícula y se caracteriza a los aerosoles atmosféricos mediante dos parámetros estadísticos: diámetro aerodinámico promedio geométrico (DMM) y desviación estándar geométrica (σ) optimizándose el método de cálculo de dichos valores.

INTRODUCCION

Un impactador funciona bajo el principio de que si una corriente de aire cargada de partículas es dirigida hacia una superficie donde ocurre un cambio brusco de dirección, las partículas con mayor inercia dejan el fluido e impactan la superficie colectora; las demás partículas permanecen en el fluido hasta que se consigue aumentar su inercia.

El aumento de inercia se obtiene incrementando la velocidad lineal de fluido, para lo cual se dispone de una placa perforada con orificios sobre cada etapa colectora. El diámetro de los orificios o surtidores, se disminuye a medida que se desciende en las distintas etapas del impactador. Como la velocidad volumétrica es constante, la disminución de la sección de los surtidores conduce a un aumento de la velocidad lineal del fluido. La cons-

tancia en el caudal se controla mediante el sistema de orificio crítico. Una válvula magnehélica mide la caída de presión a través del sistema.

El uso de estos sistemas separadores por impactación permite conocer la forma en que se distribuye la masa de las partículas colectadas con respecto al diámetro de las mismas, información muy importante, dado que para una misma masa de polvo en suspensión, el número de partículas y el área superficial de ésta varía enormemente en función del radio de la partícula. Este conocimiento es de vital importancia para determinar el riesgo de inhalación y los sitios de depósito de las partículas en el tracto respiratorio.

Los impactadores de cascada debido a su diseño, asemejan en cierta forma a las partes exter-

nas del tracto respiratorio, especialmente el septum nasal y la laringe, donde existen cambios bruscos en la dirección del aire y en donde las partículas se depositan por impactación inercial.

Discusión de conceptos y manejo de un impactador de cascada.

En los sistemas inerciales de separación de partículas la determinación del caudal es indispensable, pues permite conocer la velocidad lineal del fluido, de la cual dependen las características aerodinámicas de las partículas.

En este trabajo, el caudal (Q) se determinó conectando a la salida del sistema Andersen un medidor de flujo seco. Se hizo variar la caída de presión (ΔP) a la entrada, en el rango 5 a 16 pulgadas de agua, determinándose para cada ΔP el caudal correspondiente. Se obtuvo la siguiente ecuación de calibración:

$$Q \text{ (cfm)} = 0,441 \Delta P + 0,327$$

ec.1

El Diámetro de Corte Efectivo 50% (DCE 50%) para una etapa dada, se define como el diámetro al cual el 50% de las partículas que entran a esa etapa son removidas del fluido y retenidas sobre la superficie colectora (Tech. Rep. N° 179, 1978).

El DCE 50% se puede determinar para cada etapa usando el parámetro de impactación inercial $\sqrt{\psi}$, según la ecuación siguiente:

$$\sqrt{\psi} = \left[\frac{V_{Oj} \rho (\text{DCE } 50\%)^2}{18 \mu D_c} \right]^{1/2}$$

ec.2

donde

V_{Oj} : velocidad lineal del fluido a través del surtidor.

ρ : densidad de la partícula

μ : viscosidad del fluido

D_c : diámetro del surtidor

Si la densidad del fluido se toma como unitaria el DCE 50% se transforma en Diámetro de Corte Efectivo Aerodinámico 50% (DCEA).

El valor que toma el parámetro de impactación $\sqrt{\psi}$ es función de las características de construcción del impactador, diámetro del surtidor (D_c) y distancia entre el surtidor y el plato de colección (S) (Fig. 1).

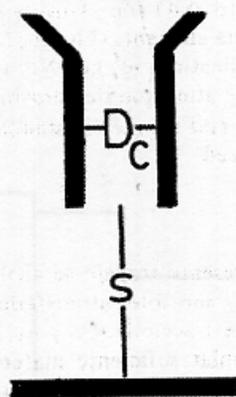


Figura 1. Surtidor del impactador de cascada Andersen.

Cuando S/D_c es mayor que 2, como ocurre con el impactador en estudio, el parámetro de impactación toma el valor 0,38 (RAC, 1979).

Los DCEA así calculados se pueden comparar con los obtenidos al utilizar la curva de calibración entregada por el fabricante (RAC, 1979). Los resultados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros aerodinámicos del impactador Andersen operando a un caudal de 4,7 cfm.

Etapa	Diám. Surt. D_c (cm)	Vel. lineal V_{Oj} (cm/s)	DCEA (μm)(a)	DCEA (μm)(b)
1	0,118	507	3,30	2,92
2	0,088	912	2,12	2,12
3	0,068	1527	1,44	1,48
4	0,051	2714	0,94	0,88
5	0,033	6438	0,49	0,48

a: DCEA calculado según ecuación 2.

b: DCEA obtenidos mediante curva de calibración.

Los diámetros de Corte Efectivo Aerodinámico se pueden transformar a diámetro aerodinámico de partículas (D_p) utilizando el factor de corrección de Cunningham (C), mediante la ecuación siguiente (Hering et al, 1979).

$$D_p = \frac{DCEA}{C^{1/2} \rho^{1/2}} \quad \text{ec.3}$$

Por su parte, C está dado por la relación:

$$C = 1 + \frac{2\lambda}{D_p} \left[1,26 + 0,4 \exp. \left(\frac{-1,1}{2\lambda} D_p \right) \right] \quad \text{ec.4}$$

donde λ es el camino libre medio.

Despreciando el término exponencial en la ecuación 4, C toma la forma:

$$C = 1 + \frac{2,52 \lambda}{D_p} \quad \text{ec.5}$$

que introduciendo en la ecuación 3, con $\lambda = 0,065$ μm a 20°C y a 1 atm, permite obtener la ecuación 6.

$$D_p = \frac{1}{2} \left[-0,1638 + \left\{ (0,1638)^2 + 4 (DCEA)^2 \right\}^{1/2} \right] \quad \text{ec.6}$$

En esta forma, los D_p para cada etapa del impactador resultan ser: 2,84; 2,08; 1,40; 0,80 y 0,41 μm .

Como ejemplo consideraremos el fraccionamiento efectuado por el impactador Andersen el día viernes 27 de junio de 1979 (Tabla 2).

Tabla 2. Concentraciones de material particulado colectado con el impactador de cascada Andersen. Viernes 27.06.1979.

Etapas	D_p (μm)	Conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	2,84	55,9
2	2,08	39,9
3	1,40	20,0
4	0,80	40,2
5	0,41	68,8
filtro	< 0,41	90,7

Discusión del manejo de resultados.

Dado un conjunto de valores derivados de una situación de muestreo como la señalada anteriormente, si se construye un histograma, tomando como frecuencia las diferencias entre las concentraciones de etapas consecutivas divididas por el rango de D_p y como clase el rango de D_p , se obtiene un histograma como el que se muestra en la Figura 2.

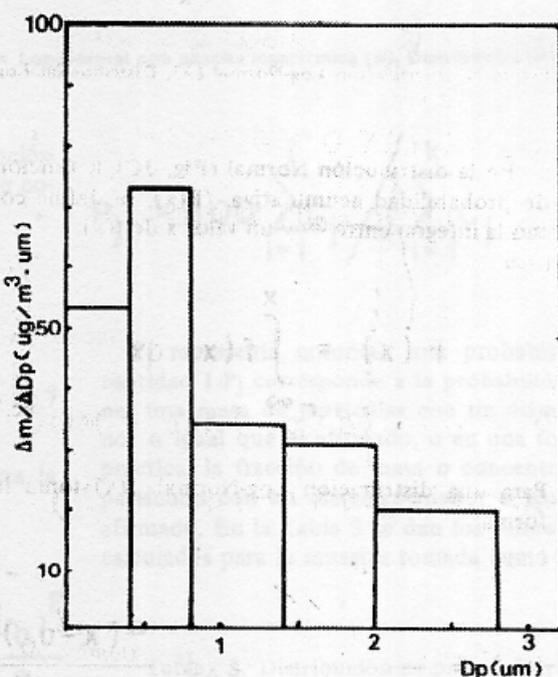


Figura 2. Histograma de frecuencia normalizada de las concentraciones.

El histograma sugiere que la distribución masa-tamaño del material particulado muestreado podría estudiarse aplicando la distribución Log-Normal de la forma mostrada en la Figura 3A.

En efecto, la distribución Log-Normal ha sido aplicada al estudio de los aerosoles atmosféricos, especialmente cuando se usa un impactador de pocas etapas, como el empleado en este trabajo (Lee, 1972).

Esta distribución puede ser normalizada y graficada sobre una abscisa logarítmica para obtener la Figura 3B, la cual es idéntica a la conocida distribución Normal o de Gauss, Figura 3C. Así las ecuaciones aplicables a esta última pueden ser adaptadas para tratar la distribución Log-Normal, cambiando $f(x)$ por $f(\ln x)$.

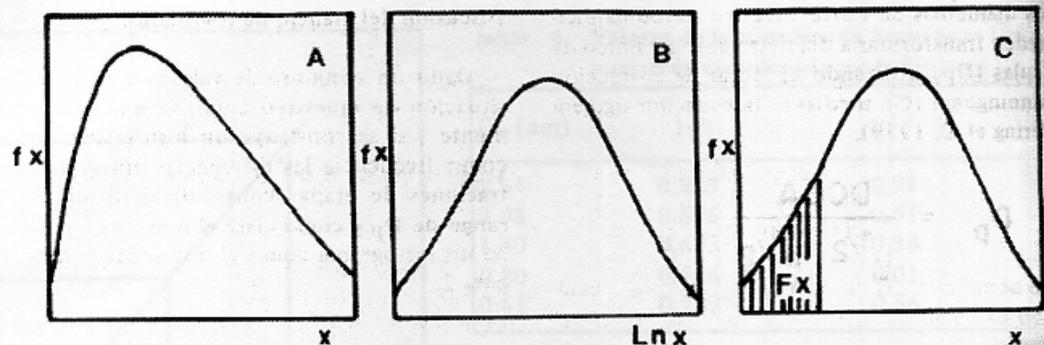


Figura 3. Distribución Log-Normal (A), Distribución Log-Normal con abscisa logarítmica (B), Distribución Normal (C).

En la distribución Normal (Fig. 3C), la función de probabilidad acumulativa, $F(x)$, se define como la integral entre $-\infty$ y un valor x de $f(x)$.

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx \quad \text{ec.7}$$

Para una distribución Log-Normal, $f(x)$ toma la forma:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp. \frac{-(x - u_0)^2}{2\sigma^2} \quad \text{ec. 8}$$

donde:

$$\begin{aligned} x &= \ln D_p \\ \sigma &= \ln \sigma_g \\ u_0 &= \ln \text{DMM} \end{aligned}$$

correspondiendo σ_g a la desviación estandar geométrica y DMM a la mediana o media geométrica de la distribución.

Para una variable discreta, es preferible, por su facilidad de manejo, utilizar la distribución Log-Normal en su forma acumulativa y estimar los parámetros estadísticos (σ_g y DMM) desde un gráfico del porcentaje de concentración acumulativo sobre papel probabilístico-logarítmico, versus el límite superior D_{pj} del j ésimo D_p . El porcentaje acumulativo queda definido por la siguiente ecuación:

$$P_j = 100 \frac{\sum_{i=1}^j C_i}{\sum_{i=1}^k C_i} \quad (j < k) \quad \text{ec.9}$$

P_j representa entonces una probabilidad. La cantidad $1-P_j$ corresponde a la probabilidad de tener una masa de partículas con un diámetro menor o igual que el afirmado, o en una forma más práctica, la fracción de masa o concentración de partículas con un diámetro menor o igual que el afirmado. En la Tabla 3 se dan los valores de $1-P_j$ calculados para la muestra tomada como ejemplo.

Tabla 3. Distribución de probabilidad.

Etapas	D_p (um)	$1-P_j$
1	2,84	0,823
2	2,08	0,696
3	1,40	0,633
4	0,80	0,506
5	0,41	0,287
filtro	< 0,41	

Los parámetros estadísticos pueden ser estimados graficando P_j o $1-P_j$ sobre una escala probabilística normal contra los diámetros de partícula en escala logarítmica. Si se dibuja una línea recta a través de los puntos, se puede obtener el diámetro promedio geométrico (DMM) que corresponde al diámetro que intercepta la probabilidad de 50% ($P = 50\%$) y la desviación standard geométrica (σ_g) como la razón de las coordenadas correspondientes a las probabilidades $P_{84\%}$ sobre $P_{50\%}$ (Figura 4).

tabla 4. Valores de la coordenada lineal para los puntos en coordenada probabilística.

D_p (um)	$1-P_j$	t_j
2,84	0,823	- 0,93
2,08	0,696	- 0,51
1,40	0,633	- 0,34
0,80	0,506	- 0,01
0,41	0,287	0,56

La ecuación de regresión que representa los datos resulta:

$$t_j = -0,105 - 0,721 \ln D_p$$

$$r = -0,991 \quad (p=0,01)$$

ec. 13

con lo que:

$$DMM = \exp(-a/b) = 0,864$$

$$\sigma_g = \exp(-1/b) = 4,00$$

ec. 14

y los porcentajes de concentración de partículas, con diámetro ≤ 1 um y ≤ 2 um son 54% y 73% respectivamente.

CONCLUSIONES

El impactador de cascada Andersen resulta ser un buen instrumento para fraccionar por tamaño el material particulado en suspensión. Sus características de diseño hacen que resulte de fácil manejo y con poca necesidad de mantenimiento. Puede ser trabajado a diferentes velocidades de flujo, con lo cual se puede modificar el diámetro de corte de cada etapa.

Mediante la aplicación de la distribución Log-Normal a la distribución masa-tamaño de partícula, se puede caracterizar a los aerosoles atmosféricos mediante dos parámetros estadísticos: el diámetro promedio geométrico y la desviación estándar geométrica.

El método para transformar la coordenada probabilística en coordenada lineal y efectuar un análisis de regresión resulta sencillo y puede ser computarizado.

El uso de este impactador presenta una gran ventaja sobre los muestreadores totales, pues permite

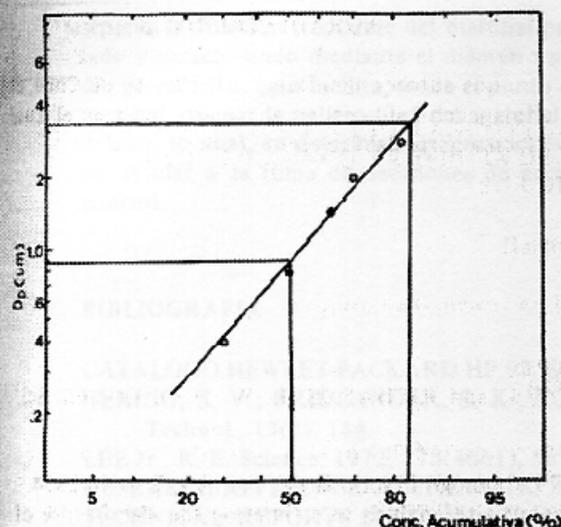


Figura 4. Representación de la distribución Log-Normal.

La subjetividad al trazar la recta a través de los puntos puede ser obviada al transformar la coordenada probabilística de los puntos, en una coordenada lineal, pudiéndose efectuar así un análisis de regresión.

Para ello se puede aprovechar la definición de variable normal estandarizada,

$$t_j = \alpha + \beta x$$

ec. 10

donde: $\alpha = \bar{x}/\sigma$ y $\beta = -1/\sigma$

La ecuación para los datos de una muestra estaría dada por:

$$t_j = a + b x_j = a + b \ln D_{pj}$$

ec. 11

donde los valores de t_j , definidos por la ecuación:

$$F(t_j) = P_j = \int_{-\infty}^{t_j} f(t) dt$$

ec. 12

pueden ser encontrados en tablas de áreas de la curva normal de probabilidad o pueden ser calculados evaluando la inversa de la función $F(t_j)$ aprovechando algún desarrollo en serie descrito para tal efecto (Cát. HP-97). En la siguiente tabla se muestran los valores de "t" para el ejemplo citado.

separar la fracción respirable del material particulado y caracterizado mediante el diámetro promedio geométrico. Esto facilita, desde el punto de vista salud, asignar la peligrosidad del material particulado, lo cual, en determinadas situaciones, puede ayudar a la toma de decisiones de acción de control.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al D.I.B., U. de Chile, el financiamiento otorgado a este trabajo el cual forma parte del Proyecto Q 1667.

BIBLIOGRAFIA

- CATALOGO HEWLET-PACKARD HP 97. Statistical Pac.
HERING, S. V.; FRIDLANDER, S. K.; COLLINS, J. J. and RICHARDS, L. W. 1979. Environ. Sci. Technol., 13(2), 184.
LEE Jr., R. E. Science, 1972, 178(4061), 567.
RESEARCH APPLIANCE COMPANY, (R. A. C.) 1979. Catálogo Fractionating Sampler, Boletín 2354.
TECHNICAL REPORTS SERIE Nº 179, 1978. "Particle size analysis in estimating the significance of airborne contamination", International Atomic Energy Agency, Viena.