

Determinación de la Distribución de Tamaño y Concentración de Partículas en una Industria de Procesamiento de Agregados Utilizando un Impactador de Cascada.

Julio Prieto Beltrán¹, Mario Patiño Aroca²

¹ Ingeniero Mecánico 2003

² Director de Tesis, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1985, Maestría en Ingeniería Ambiental, EEUU Universidad de New Orleans 1993 –1995, Profesor de la ESPOL desde 1987.

RESUMEN

Uno de los principales inconvenientes de la industria procesadora de agregados, es la contaminación atmosférica producida por material particulado en suspensión. Para poder mitigar este tipo de contaminación, se hace necesario estudiar las características físicas de las partículas en suspensión.

Esta tesis trata sobre el muestreo del material particulado en suspensión, el objetivo principal de la misma es determinar la concentración y distribución de tamaño de las partículas que se generan durante el proceso de trituración de agregados. Se elaboró un protocolo para efectuar el muestreo con un impactador de cascada, así como el análisis gravimétrico de la muestra.

Para el muestreo se utilizó un impactador de cascada MSP MOUDI 100, el cual clasifica el material particulado en ocho fracciones entre 0.18 y 18 μm , el material menor a 0.18 μm es colectado en un filtro. Además, se generaron gráficas de la distribución de tamaño de las partículas y se determinó la media y desviación estándar de los diferentes modos encontrados en las muestras. Las gráficas obtenidas, fueron de tipo bimodal, con dos fases bien marcadas (partículas finas y gruesas), se obtuvieron altos niveles de fracción respirable, lo cual puede afectar la salud de los trabajadores.

INTRODUCCIÓN

El material particulado aerotransportado representa una mezcla compleja de sustancias orgánicas e inorgánicas. Los aerosoles contaminantes se encuentran compuestos de partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire o son una mezcla de ambas. Estas partículas varían en su tamaño, composición y origen. Este tipo de material se divide en dos grupos principales: partículas gruesas y partículas finas, las primeras se ubican en un rango de tamaño mayor a 2.5 μm , mientras que el segundo grupo abarca las partículas menores a 2.5 μm .

La metodología utilizada en este trabajo consistió en determinar la concentración de partículas de diferentes tamaños, así como la determinación de la fracción respirable del total del material capturado. Se realizaron mediciones para tres materiales diferentes (yeso, caliza y arcilla), durante dos días laborables y uno sin producción, cada medición se realizó en la jornada laboral (8 horas).

Para estos efectos, se utilizó un impactador de cascada MOUDI MSP 100, el cual trabaja a un caudal de 30 litros/min, El equipo muestreador de aire succiona aire ambiente, a una tasa de flujo constante, el aire pasa por ocho etapas de diferentes tamaños que van desde 18 μm hasta 0.18 μm , en donde la materia en suspensión particulada es separada inercialmente y colectada en diferentes substratos de acuerdo a su diámetro aerodinámico y deja pasar las partículas menores a 0.18 μm hacia un filtro de alta eficiencia.

Los substratos y filtro fueron pesados, luego de un período de equilibrio con la humedad del ambiente del laboratorio donde está la balanza, antes y después de cada prueba, para determinar la masa neta ganada durante la colección de partículas.

Con los datos obtenidos se obtuvieron valores de concentraciones de los tres materiales, se generaron curvas e histogramas de distribución de tamaño y se calculó la fracción respirable a la cual están expuestos los trabajadores.¹

CONTENIDO

Principio de Funcionamiento de un Impactador de Cascada

Los impactadores inerciales son ampliamente utilizados para la selección de tamaño en la colección de partículas de los aerosoles. El impactador de cascada es usado para fraccionar las muestras de partículas y poder obtener la descripción de ellas como función de su tamaño.

El principio de funcionamiento del MOUDI (Micro Orifice Uniform Deposit Impactor) es similar al de un impactador de cascada inercial con múltiples boquillas. El impactador de cascada utiliza una bomba de vacío, la cual succiona aire y recoge partículas del medio donde se realiza el muestreo.

Esto ocasiona que una corriente de aire cargada de partículas ingrese a alta velocidad al impactador, dentro del equipo, el chorro de aire con partículas pasa por cada una de las ocho etapas que conforman el MOUDI, en cada etapa existen discos con perforaciones de diversos tamaños que alteran la velocidad del aerosol que continúa hacia la siguiente etapa, esto causa que las partículas cuyo diámetro sea mayor que el diámetro de corte de la etapa, impacten y se depositen, mientras las pequeñas continúan su camino hacia las siguientes etapas siguiendo las líneas de flujo del aire fuera de la región de impactación. La figura 1 muestra el principio de operación de un impactador de cascada.

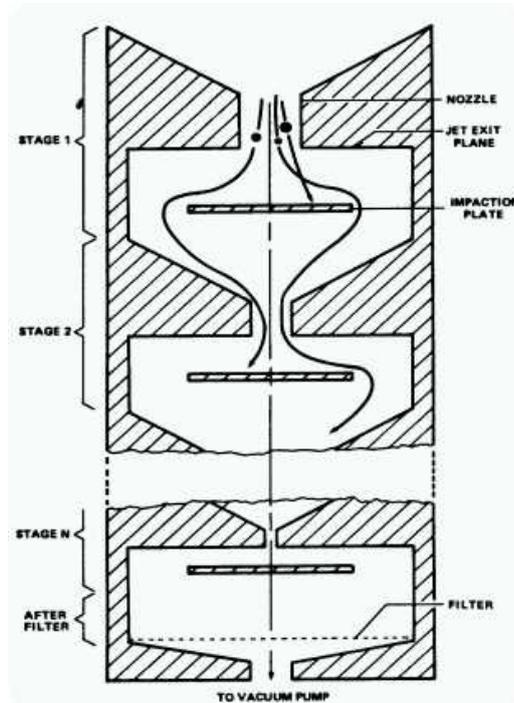


FIGURA 1: PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN IMPACTADOR DE CASCADA

Las partículas impactan sobre los substratos de papel de aluminio, los cuales pueden estar cubiertos de silicón para reducir el rebote de las mismas. Las partículas que son de mayor tamaño que las boquillas son colectadas sobre la lámina de impactación de esa etapa, mientras que las partículas más pequeñas con menor inercia continúan hacia la siguiente etapa donde las boquillas tiene un diámetro menor.²

El aire se acelera a velocidades más altas en las etapas sucesivas, retirando partículas cada vez más pequeñas en cada etapa subsecuente. Este proceso continúa a través del impactador de cascada hasta que las partículas menores a $0.18 \mu\text{m}$ son colectadas en el filtro, el cual es dispuesto en la parte final del impactador.

Las partículas en un impactador de cascada son clasificadas por su diámetro aerodinámico, lo cual es un parámetro importante de tamaño en muchos campos de estudio, incluidos los relacionados con los efectos de las partículas respirables en la salud.

Descripción y Operación del Equipo (MOUDI)

El método utilizado por el MOUDI para coleccionar partículas, es emplear boquillas muy pequeñas, las dimensiones de las boquillas permiten a las partículas ser coleccionadas a velocidades relativamente bajas, y consecuentemente con bajas caídas de presión.

Debido al uso de múltiples boquillas con micro orificios (900 boquillas de 90 μm de diámetro en la fase final), el tamaño de corte de la fase final puede ser tan pequeño como 0.18 μm con una razón de flujo total a través del impactador de 30 L/min. La tabla I muestra el diseño y los parámetros operativos para la entrada y las ocho fases del impactador. El número de boquillas varía desde 1 en el ingreso a 900 para las últimas fases.

TABLA I

DISEÑO Y PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL MOUDI MSP MODELO 100

Etapa	Diámetro de corte ^a Nominal (μm)	Número de boquillas	S / W ^b	P / P _o ^c	Número de Reynolds
Entrada	18	1	0.75	1.00	2420
1	10.0	3	0.5	1.00	1560
2	5.6	10	1.0	1.00	1090
3	3.2	10	1.0	1.00	1680
4	1.8	20	1.0	1.00	1510
5	1.00	40	1.0	0.99	1440
6	0.56	80	1.5	0.97	1340
7	0.32	900	4.1	0.95	350
8	0.18	900	6.4	0.89	580

^a Con un caudal de 30 L/min y con presión atmosférica y temperatura estándar.

^b S = Distancia del chorro a la placa; W = diámetro de la boquilla.

^c P = Presión absoluta en la etapa de salida con todas las etapas instaladas.

P_o = Presión al ingreso del MOUDI.³

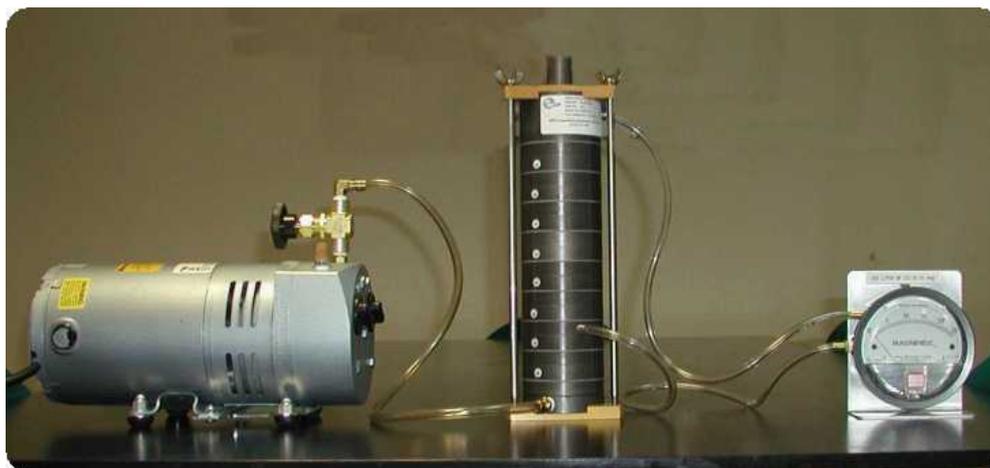


FIGURA 2: IMPACTADOR DE CASCADA MSP 100

Protocolo para muestreo de partículas.

1. Antes de proceder a tomar la muestra es necesario encender el MOUDI en vacío (sin el filtro y los substratos) durante 15 a 30 minutos. Esto se realiza con la finalidad de evitar la

presencia de agua en el impactador producida por la condensación del vapor de agua presente en el ambiente, lo cual podría alterar la medición.

2. En la colocación de los filtros y substratos es necesario asegurarse que estos no se doblen ni dañen y que queden perfectamente planos. Al momento de ensamblar el equipo se debe tener cuidado de no tocar la parte interna y sobre todo las boquillas de las diferentes etapas, ya que es posible que algunas partículas que se encuentran en los dedos se depositen sobre las etapas.
3. Una vez que se ha ensamblado el impactador se debe proceder a conectar el equipo a la bomba de vacío y al manómetro por medio de las mangueras, tomando en cuenta que estas queden ajustadas para evitar fugas.
4. Durante el muestreo se debe revisar periódicamente la presión en el manómetro (22.6 pulg H₂O), la misma debe permanecer inalterable, ya que garantiza que el flujo del gas (30 l/min) a lo largo del período de muestreo será un flujo isocinético.
5. Concluido el muestreo, se debe anotar la hora de finalización. Posteriormente se debe colocar los substratos de aluminio y filtro en el portafiltros para llevar la muestra hacia un laboratorio, donde se procederá a su análisis y pesaje final.

Instrucciones Generales para el Manejo de Muestras

Para el pesaje de las muestras se utilizó una balanza ATI Cahn Modelo 35 con una precisión de 1 µg. Debido a la alta sensibilidad de la balanza se debe tener cuidados especiales durante el uso de la misma y de las muestras, cualquier factor puede afectar la medición y por consecuencia el resultado final sería erróneo.

Como una regla general, los filtros y substratos a ser pesados antes y después del muestreo deben tener las mismas condiciones de temperatura y humedad de la balanza. Así, los filtros se mantuvieron en el cuarto de balanzas a 25 °C y 50 % HR, durante 24 horas previas y posteriores al muestreo, manteniendo variaciones máximas de ± 1 % °C y ± 5 % de HR.

Para la colección de la muestra se utilizó un filtro de microfibra ultra pura de cuarzo, en este caso se utilizó un filtro de cuarzo de 37 mm de diámetro marca Pallflex, tipo 2500 QAT – UP. Para el resto de las etapas se utilizó substratos de papel de aluminio de 47 mm de diámetro.

Las muestras a ser pesadas nunca deben ser manipuladas sin el uso de guantes. El efecto de la temperatura corporal, la alta higroscopía y los aceites naturales de los dedos pueden causar una interferencia considerable en la muestra durante el pesaje.

Para neutralizar las cargas estáticas de las partículas que se encuentran en el medio se utiliza un dispositivo emisor de energía alfa. Esto se debe a que emite una gran cantidad de iones cargados positiva y negativamente. El material cargado atrae una cantidad suficiente de iones con carga opuesta con lo que se elimina completamente la carga estática. Las fuentes de energía alfa eliminan totalmente el incremento de la estática, la ionización del aire no produce efectos adversos en las personas. Para el caso presente se utilizó una barra de polonio 210 marca Staticmaster.

A continuación se detallan los pasos a seguir para un apropiado manejo de los filtros antes y después del muestreo:

- Los substratos y filtro deberán ser colocados 24 horas antes de su uso en un lugar que posea condiciones estables de temperatura y humedad relativa (laboratorio).
- Posteriormente deben ser pesados para definir la masa inicial de los mismos
- Cuando el período de muestreo ha concluido, el equipo debe ser trasladado hacia el laboratorio donde se realizó el pesaje inicial. Una vez en este lugar se debe proceder a desarmarlo y extraer los substratos y filtro, los cuales serán abiertos en un medio ambiente protegido.
- El filtro y los substratos son colocados en “cuarentena” durante 24 horas, bajo las condiciones iniciales de temperatura y humedad relativa. Una vez transcurrido este periodo se realiza el pesaje final para determinar la masa colectada.⁴



FIGURA 3: SUBSTRATOS LUEGO DE UN MUESTREO

Cálculo de concentraciones de masa

Una vez que las ocho etapas del impactador y el filtro han sido pesadas antes y después del muestreo, se debe determinar la masa colectada para cada rango de tamaño. El peso neto ganado por cada etapa y por el filtro es mostrado en la columna 6 de la tabla II, este valor se obtiene de la diferencia entre el peso inicial y final de los substratos. El porcentaje de la fracción de masa para cada etapa del impactador se obtiene dividiendo el peso neto de cada etapa para la suma de todos los pesos netos y multiplicando este valor por cien. La última columna de la tabla II contiene la fracción de masa acumulada, la fracción de masa acumulada en una etapa en particular es igual a la fracción de masa de dicha etapa más la suma de todas las fracciones de masa de las etapas anteriores. El cálculo correcto rendirá el 100% para la fracción de masa acumulada de la primera fase. La concentración de masa se expresa usualmente como la masa total de las partículas en un volumen dado. Las unidades básicas para la concentración de partículas son los microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).⁵

La concentración de masa para cada etapa se obtiene dividiendo la masa obtenida durante el muestreo, para el producto entre el caudal del MOUDI y el tiempo que duró el muestreo, el caudal del MOUDI es de 30 l/min ($0.0005 \text{ m}^3/\text{s}$), para el tiempo de muestreo se tomó en cuenta la jornada laboral de 8 horas (28800 s). La concentración de masa total es la suma de las concentraciones de masa parciales. A continuación se muestran los resultados obtenidos en la tabla II y la gráfica correspondiente de concentración de masa vs. tamaño de partícula (figura 4).

TABLA II

DATOS DE MUESTREO Y CONCENTRACIÓN DE PARTICULAS (Trituradora de yeso)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Etapas	Rango de Tamaño D_{p1} , (μm)	D_{50} (μm)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Diferencia Δm (g)	Diferencia Δm (mg)	C_m ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fracción de Masa (%)	Fracción de masa acumulada (%)
0	18 - 30	18	0.0775	0.0781	0.0006	0.60	41.67	5.66	100.00
1	10.0 - 18	10	0.0788	0.0795	0.0007	0.70	48.61	6.60	94.34
2	5.6 - 10.0	5.6	0.0785	0.0796	0.0011	1.10	76.39	10.38	87.74
3	3.2 - 5.6	3.2	0.0773	0.0781	0.0008	0.80	55.56	7.55	77.36
4	1.8 - 3.2	1.8	0.0781	0.0788	0.0007	0.70	48.61	6.60	69.81
5	1.0 - 1.8	1	0.0779	0.0792	0.0013	1.30	90.28	12.26	63.21
6	0.56 - 1.0	0.56	0.0783	0.0803	0.0020	2.00	138.89	18.87	50.94
7	0.32 - 0.56	0.32	0.0787	0.0804	0.0017	1.70	118.06	16.04	32.08
8	0.18 - 0.32	0.18	0.0779	0.0791	0.0012	1.20	83.33	11.32	16.04
Filtro	0 - 0.18	0	0.0722	0.0727	0.0005	0.50	34.72	4.72	
						10.60	736.11	100.00	

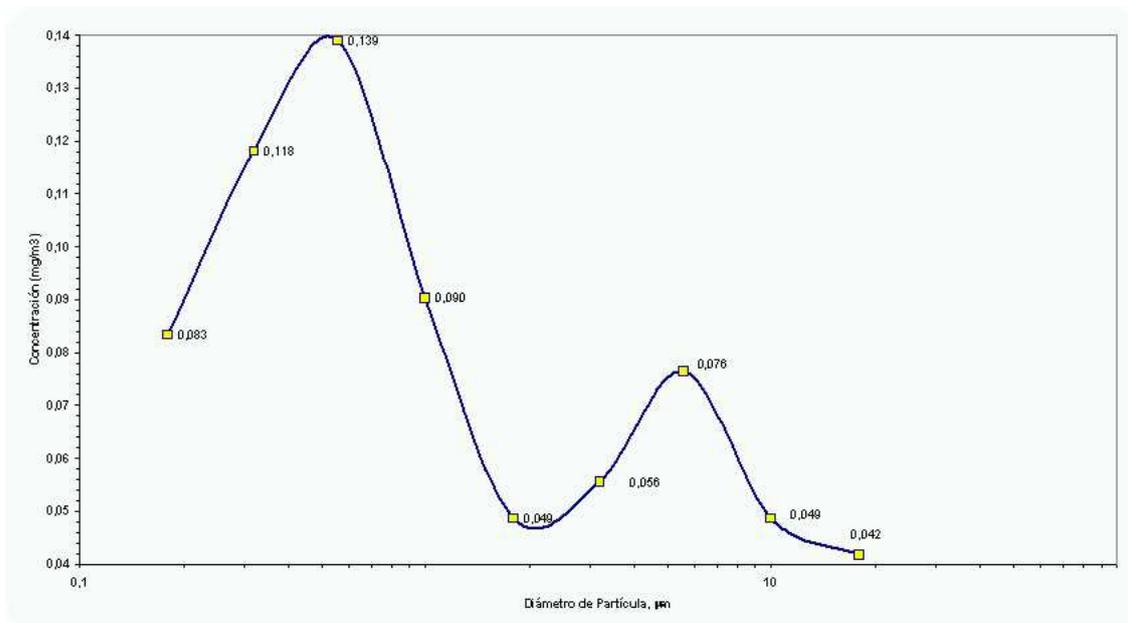


FIGURA 4: CONCENTRACIÓN VS DIÁMETRO DE PARTÍCULA

Cálculo de la Media Geométrica y de la Desviación Estándar Geométrica Usando Distribuciones Lognormales.

La distribución normal ampliamente usada no explica de una manera apropiada las distribuciones de tamaño típicas de un aerosol, pero una distribución relacionada, la distribución lognormal, tiene un uso extenso porque grafica de una forma más sencilla las distribuciones de tamaño de aerosol y posee ventajas analíticas. Para muchas fuentes humanas, la distribución de material particulado es una distribución lognormal. Por lo tanto, es más fácil trabajar con distribuciones de tamaño de partícula en base logarítmica. Cuando los diámetros de partícula son graficados en una escala logarítmica se genera una curva en forma de campana. El histograma y la campana que se forma es denominada curva lognormal.

La distribución de tamaño de partículas resulta de mecanismos complejos de formación de partículas o mecanismos simultáneos de formación. Estas distribuciones pueden presentar más de un pico (multi-modal). La desviación geométrica standard (GSD) de una distribución lognormal es determinada dividiendo el tamaño partícula para el 84 % (Diámetro de partícula que es igual o menor al 84 % de la masa presente) de probabilidades para el diámetro de masa medio (MMD) o por dividir el MMD para el tamaño de partícula al 16 % (Diámetro de partícula que es igual o menor al 16 % de la masa presente) de probabilidades.

$$GSD = \frac{D_{84\%}}{MMD} = \frac{MMD}{D_{16\%}} \quad (1)$$

La conversión de las ecuaciones dadas arriba son sólo válidas si la distribución es lognormal o una buena aproximación a una distribución lognormal. El uso de papel probabilístico simplifica la determinación del MMD y la desviación geométrica standard (GSD). El MMD y la GSD pueden determinarse directamente de una gráfica de datos acumulada del impactador de cascada si la distribución es lognormal, mientras que el 84 percentil, el 16 percentil pueden leerse directamente de la gráfica de la fracción acumulada de datos del impactador. Al graficar la distribución acumulada en un papel probabilístico se obtiene diferentes puntos, se traza una línea entre ellos, lo cual da como resultado una línea recta. Debido a la rápida expansión de la escala en los extremos, es preferible colocar la línea entre los puntos ubicados entre el 20% al 80% y se pueden despreciar los puntos menores a 10% o mayores al 90%. Si los puntos trazados muestran una marcada diferencia de la forma de una línea recta, aparte de los errores aleatorios sobre la línea, la distribución no es lognormal y la ecuación (1) no puede ser usada.

El MMD puede leerse directamente de esta línea, así como los percentiles 84 o 16, y juntos pueden ser usados para calcular la desviación geométrica (GSD) por medio de la ecuación (1). La ecuación (1) muestra que la GSD está relacionada estrechamente con la pendiente de la línea recta en una gráfica en papel probabilístico. Si se obtuviera una línea horizontal, esto implicaría que todas las partículas son del mismo tamaño. Por otro lado, una línea muy inclinada (cercana a la vertical) implica una distribución muy amplia.

Un aerosol conformado por dos (o más) fuentes tiene distribuciones de tamaño lognormales diferentes para cada una de las fuentes. Si una distribución de tamaño de un aerosol tiene dos picos, esta distribución recibe el nombre de "bimodal". En los casos en que las distribuciones sean de tipo bimodal, la gráfica de los datos en papel probabilístico no darán como resultado una línea recta. Para caracterizar este tipo de datos de tamaño de partícula, es necesario tratar los datos como dos distribuciones lognormales separadas. El primer grupo corresponde a las partículas denominadas pequeñas, cuyo rango de tamaño está entre 0 a 1 μm , el segundo grupo son las partículas grandes y su rango de tamaño se encuentra entre 1 a 18 μm . A continuación se presenta los resultados y gráficos obtenidos en un día de medición, se encontraron los valores del MMD y GSD para los rangos de partículas pequeñas y grandes.⁶

**TABLA III
DATOS DE DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL
PARTICULAS PEQUEÑAS (Trituradora de Yeso)**

1	2	3	4	5	6	7	8
Etapa	Masa Inicial (mg)	Masa Final (mg)	Diferencia (mg)	Fracción de Masa (%)	ECD (μm)	Rango de Tamaño (μm)	Fracción de masa acumulada (%)
6	0,0783	0,0803	0,0020	37,04	0,56	0.56 - 1	100,00
7	0,0787	0,0804	0,0017	31,48	0,32	0.32 - 0.56	62,96
8	0,0779	0,0791	0,0012	22,22	0,18	0.18 - 0.32	31,48
Filtro	0,0722	0,0727	0,0005	9,26	0	0 - 0.18	9,26
			0,0054	100,00			

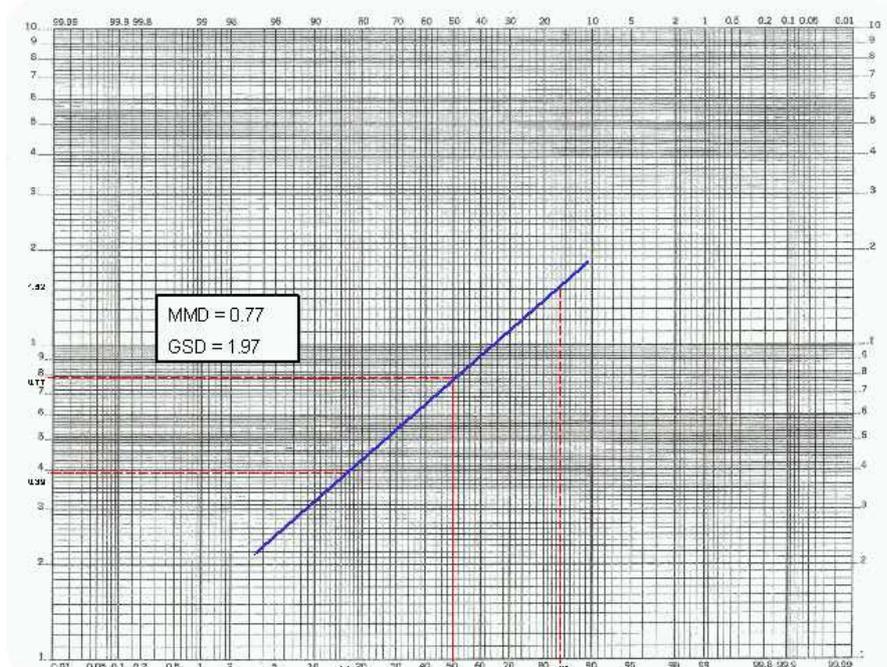


FIGURA 5: DISTRIBUCIÓN LOG PROBALISTICA DE PARTICULAS PEQUEÑAS

TABLA IV

**DATOS DE DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL
PARTICULAS GRANDES 15-05-02**

1	2	3	4	5	6	7	8
Etapa	Masa Inicial (mg)	Masa Final (mg)	Diferencia (mg)	Fracción de Masa (%)	ECD (µm)	Rango de Tamaño (µm)	Fracción de masa acumulada (%)
0	0,0775	0,0781	0,0006	11,54	18,0	> 18,0	100,00
1	0,0788	0,0795	0,0007	13,46	10	10,0 - 18	88,46
2	0,0785	0,0796	0,0011	21,15	5,6	5,6 - 10,0	75,00
3	0,0773	0,0781	0,0008	15,38	3,2	3,2 - 5,6	53,85
4	0,0781	0,0788	0,0007	13,46	1,8	1,8 - 3,2	38,46
5	0,0779	0,0792	0,0013	25,00	1	1 - 1,8	25,00
			0,0052	100,00			

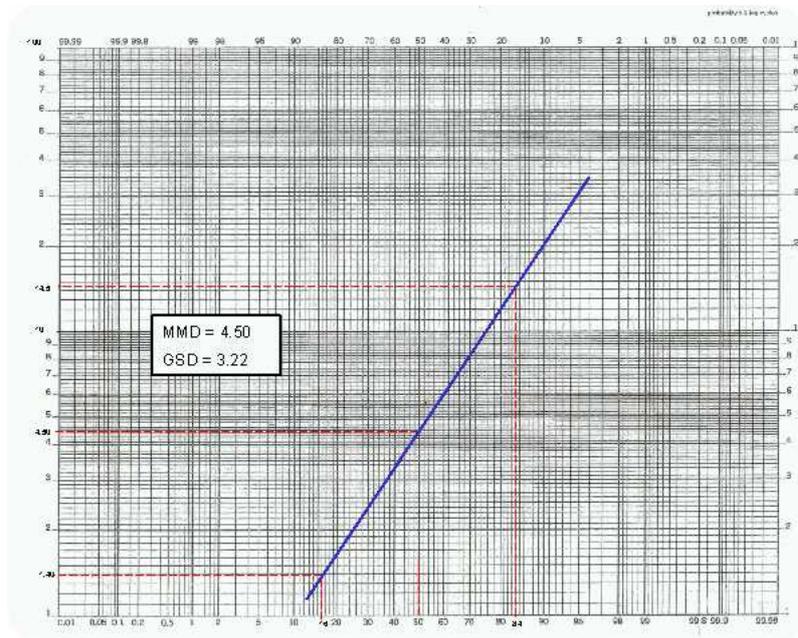


FIGURA 6: DISTRIBUCIÓN LOG PROBALISTICA DE PARTICULAS GRANDES

Cálculo de Fracción Respirable

Una de las ventajas de obtener una distribución de tamaño con un impactador de cascada es que la masa de la fracción respirable puede ser calculada en cualquier momento. Esta es calculada por medio de un método que combina los cálculos con la parte gráfica.

El promedio de la fracción respirable para cada fase, columna (6) en la tabla V, puede calcularse de dos maneras. La manera más sencilla es tomar el promedio de las fracciones respirables para los límites superior e inferior de cada intervalo del impactador de cascada,

$$\overline{RF} = \frac{(RF_{LL} + (RF_{UL}))}{2} \quad (2)$$

donde RF es el promedio de la fracción respirable para el intervalo, RF_{LL} es la fracción respirable en el límite menor de un intervalo y RF_{UL} es la fracción respirable en el límite mayor del mismo intervalo. Con la ecuación 2 se procede a crear una tabla en la cual se anotará la fracción respirable para los límites inferior y superior de cada intervalo, con estos dos datos se obtiene la fracción respirable promedio para cada intervalo de partícula, esta tabla se muestra a continuación.

**TABLA V
FRACCION RESPIRABLE PROMEDIO**

intervalo	fracción límite inferior %	fracción límite superior %	fracción límite inferior	fracción límite superior	promedio fracción respirable
> 18.0	0	0	0	0	0
10.0 - 18	0,4	0	0,004	0	0,002
5.6 - 10.0	16	0,4	0,16	0,004	0,082
3.2 - 5.6	58	16	0,58	0,16	0,37
1.8 - 3.2	93	58	0,93	0,58	0,755
1 - 1.8	99,9	93	0,999	0,93	0,965
0.56 - 1	100	99,9	1	0,999	0,9995
0.32 - 0.56	100	100	1	1	1
0.18 - 0.32	100	100	1	1	1
0 - 0.18	100	100	1	1	1

Con esta tabla se puede calcular el porcentaje de masa respirable para cada intervalo de tamaño, este valor se obtiene al multiplicar la fracción de masa (columna 3) por la fracción respirable promedio (columna 4), la fracción de masa respirable total se obtiene al sumar las masas respirables parciales de cada intervalo. El total de la columna (5) es la fracción respirable del aerosol, 71.41 % para el caso de la trituradora de yeso.

Por otro lado la fracción PM₁₀ se calcula de una forma similar, en este caso solo se suman las fracciones parciales de todos los intervalos menores a 10 µm. El total de la columna (7) es la fracción PM₁₀ del aerosol, correspondiente al 71.39 % para la trituradora de yeso, lo cual se muestra en la tabla VI.⁷

**TABLA VI
FRACCION RESPIRABLE Y FRACCION PM 10 (Trituradora de Yeso)**

1	2	3	4	5	6	7
Etapas	Rango de Tamaño (µm)	Fracción de Masa (%)	Fracción respirable promedio (fr)	Masa Respirable (%)	Fracción PM ₁₀ promedio (fr)	Masa PM ₁₀ (%)
0	> 18.0	5,66	0,000	0,00	-	-
1	10.0 - 18	6,60	0,002	0,01	-	-
2	5.6 - 10.0	10,38	0,082	0,85	0,082	0,85
3	3.2 - 5.6	7,55	0,370	2,79	0,370	2,79
4	1.8 - 3.2	6,60	0,755	4,99	0,755	4,99
5	1 - 1.8	12,26	0,965	11,83	0,965	11,83
6	0.56 - 1	18,87	1,000	18,86	1,000	18,86
7	0.32 - 0.56	16,04	1,000	16,04	1,000	16,04
8	0.18 - 0.32	11,32	1,000	11,32	1,000	11,32
Filtro	0 - 0.18	4,72	1,000	4,72	1,000	4,72
		100,0		71,41		71,39

CONCLUSIONES

Las gráficas de las concentraciones que se obtuvieron son de tipo bimodal, dando como resultado dos modos (fino y grueso). En los días de medición con producción los niveles de concentración de material particulado fino es mayor que las partículas gruesas. Mientras que los resultados que se obtuvieron en los días de descanso, dieron una distribución bimodal en la cual la fracción de material grueso superó en concentración a la fracción fina. En los días con producción los niveles de material fino aumentan por el aporte de partículas de diferentes tamaños, producidas por los procesos de trituración de material, en un día no laborable el nivel de material particulado fino disminuye debido a que no actúa la fuente que lo genera, el nivel de material grueso aumenta en los días no laborables porque las partículas de mayor tamaño son aportadas por fuentes naturales.

Los resultados obtenidos por medio del muestreo permitirán construir modelos de la calidad del aire para predecir la evolución de la distribución de tamaño y la composición de las partículas finas y gruesas en la atmósfera. Al analizar los resultados consolidados de la medición de yeso se puede determinar que la concentración durante el primer día laborable de muestreo fue de 736.11 µg/m³, de esta cantidad el 68.6 % pertenece a la fracción fina. En la fracción de material particulado grueso PM > 2.5 µm el rango de mayor concentración es 5.6 a 10 µm, alcanzando un valor de 76.39 µg/m³.

En el segundo día laborable el 70.7 % de la muestra pertenece a material fino, la máxima concentración se encuentra en el rango 0.56 a 1.0 μm , con un valor de 187.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En lo que respecta al material particulado grueso la mayor concentración fue de 97.22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ perteneciente al intervalo 5.6 a 10.0 μm . La concentración total fue de 972.22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que durante el día no laborable, la concentración total fue de 312.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, la mayor concentración de material particulado se encuentra en la fracción fina con un 53.33 %, el intervalo donde se registró la mayor concentración fue el de 0.56 a 1.0 μm , con una concentración de 41.67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. El material particulado grueso registró la mayor concentración en el intervalo 3.2 a 5.6 μm con un valor de 55.56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

El yeso tiene una mayor cantidad de partículas respirables, incluso durante un día sin producción existe un nivel alto de partículas pequeñas en el aire, esto se debe a que este tipo de partículas tiene una mayor tendencia a mantenerse flotando en el ambiente por las corrientes de viento en el sector. La fracción respirable del yeso durante el primer día de muestreo fue del 71.41 %, este porcentaje corresponde al material respirable de toda la muestra durante el primer día laborable, alrededor del 62.76 % del material muestreado corresponde a una tamaño menor a 2.5 μm , que es la fracción de mayor peligro para los trabajadores. En el segundo día laborable la fracción respirable alcanzó el 72.2 % de la muestra, el 64.28 % corresponde a la fracción menor a 2.5 μm . Durante el día no laborable, la fracción respirable alcanzó un 65.29 %, del total de la masa colectada durante este día el 57.51 % corresponde a partículas de tamaño menor a 2.5 μm .

Algo importante a destacar es que este equipo sirve para realizar estudios de material respirable, analizando el tamaño de los aerosoles, por lo que a pesar de poder capturar partículas de tamaño menor a 10 μm (PM_{10}) y menor a 2.5 μm ($\text{PM}_{2.5}$), el equipo no puede trabajar 24 horas continuas, por este hecho, no es aplicable para cumplir con la Norma de Calidad del Aire Ambiente de la República del Ecuador, la cual se basa en la medición de concentraciones de material particulado PM_{10} y material particulado $\text{PM}_{2.5}$.

REFERENCIAS

1. J. Prieto, "Determinación de la Distribución de Tamaño y Concentración de Partículas en una Industria de Procesamiento de Agregados Utilizando un Impactador de Cascada." (Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2003).
2. Chang Mingchih, Kim Seongheon & Sioutas Constantinos, "Experimental Studies On Particle Impaction And Bounce: Effects Of Substrate Design And Material", (Elsevier Science Publishing Co. Inc, Los Angeles, 1999), Capítulo 8.
3. Marple Virgil, Behn Steven & Rubow Kenneth, A Microorifice Uniform Deposit Impactor (MOUDI): Description, Calibration and Use, (Elsevier Science Publishing Co. Inc., Minneapolis, 1991), pp. 434 – 446.
4. Newton, Cheng, Barr, & Yeh, Effects of Collection Substrates on Performance and Wall Losses in Cascade Impactor. (Journal of Aerosol Science 21, 1990) pp. 467–470.
5. Heintzenberg, J, Determination In Situ Of The Size Distribution Of The Atmospheric Aerosol, (Aerosol Sci, Los Angeles, 1975), pp. 291-303.
6. Hinds, W.C., Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles, (John Wiley & Sons, New York, 1982), pp. 83 – 90.
7. American Industrial Hygiene Association, Particle Size - Selective Aerosol Sampling in the Workplace. (AIHA, Fairfax, 1996).

Ing. Mario Patiño A.
Director de tesis

Julio Prieto B.