

# Diseño de un Sistema de Filtrado para Muestras de Material Arcilloso para un Laboratorio de Materiales

Walter Marin S. <sup>(1)</sup>; Francisco Andrade S. <sup>(2)</sup>

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador

[wmarin@espol.edu.ec](mailto:wmarin@espol.edu.ec) <sup>(1)</sup>; [fandrade@espol.edu.ec](mailto:fandrade@espol.edu.ec) <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Estudiante de Ingeniería Mecánica, ESPOL

<sup>(2)</sup>Director de Tesis, Ingeniero Mecánico, ESPOL

## Resumen

*La presente tesis trata acerca del diseño de un sistema de ventilación industrial para separar muestras de polvo de arcilla seca molida por su tamaño, para su análisis granulométrico en el Laboratorio de Cerámicos, la cual consiste en separar las partículas por el tamaño de grano, obteniendo una aproximación del porcentaje de los materiales que conforman la muestra, en especial los óxidos, el diseño surgió de la necesidad de mejorar el sistema actual, sobre todo en el tiempo que toma en realizar la práctica. Para esto, el sistema se basa en la utilización de métodos para transportar sólidos, por corrientes de aire controlado, y de la filtración de la mezcla aire-sólido, en el cual se aplican filtros de mangas en serie, arreglados de forma que capturen las partículas más grandes, mayores a 190, 140, 90, 40 hasta 5  $\mu\text{m}$ , y que tenga un sistema de limpieza de pulso de aire, para la recolección de las diferentes partículas.*

**Palabras Claves:** ventilación industrial, granulometría, transporte de sólidos, filtro de mangas

## Abstract

*The current thesis talks about of the design of an industrial ventilation system to categorize samples from dried milled clay for its sized analysis in the Laboratory of Ceramics, which consist in separating the particles by the grain size, obtaining an approximation of the percentage of materials that conforms the sample, especially the oxides, which was born from the necessity to improve the present system, in particular, the time it takes to develop the practice. The new system is based on methods for transportation of solids in controlled air waves and filtration of air – solid combination, which applies serial cylinder filters, arranged in the format to capture the largest particles ranging from 190, 140, 90, 40 and 5  $\mu\text{m}$ . It must contain a cleaning system that runs on pulses of air for recollection of the different particles.*

## 1. Descripción del problema

A continuación se describe los problemas del equipo actual.

### 1.1 Antecedentes

En Laboratorio de Cerámicos se realizan pruebas y análisis con materiales cerámicos en varios equipos, algunos obsoletos e

ineficientes, sobre todo en proceso difíciles como el análisis granulométrico.

### 1.2 Caracterización de Cerámicos

Estas enseñan la composición y estructura de los materiales, para su reproducción. Las características especifican aspectos químicos y físicos de la composición de una o varias partículas. Para caracterizar es necesario evaluarlas en la experimentación y poder reproducirlas.

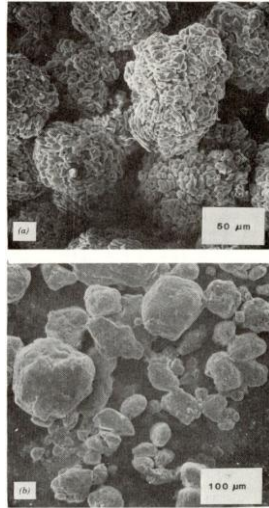


FIGURA 1.1 VISTA MICROSCÓPICA DETALLADA DE PARTÍCULAS DE ARCILLA

### 1.3 Descripción del proceso actual

Se recolectan muestras, que contienen sílice, agua e impurezas, debiéndolas separarlas, por apertura de tamaño controlado. Esta técnica se la puede realizar mediante vía húmeda o seca. En el laboratorio se lo hace por vía seca debido a la facilidad en secar y moler, después se coloca la muestra en bandejas con mallas en fondo acopladas una debajo de la otra, ordenadas por el tamaño de malla.

Se aplica vibración y las partículas se ordenan en las mallas, luego cada bandeja se pesa, para calcular la masa de la muestra, obteniendo la curva granulométrica.

En el proceso existen problemas de contaminación en el aire y por ruido, Necesariamente se deberá disminuir el tiempo y eficiencia en la práctica.

#### 1.3.1 Tamizado

Consiste en pasar el material por tamices que poseen orificios progresivamente decrecientes.

El material retenido se considera como la media aritmética entre los tamices retenedores. Los tamices se construyen con hilos de nylon o poliuretano normados. Entre estas normas existen las normas de Tyler.

## 2 Planteamiento del sistema de separación de arcilla

Se describen fundamentos físicos, que se usaran para seleccionar y diseñar el sistema, no se desestimarán detalles en todo aspecto.

### 2.1 Técnicas de Cribado

Clasifica a las partículas pasándolas por aberturas de tamaño controlado, con tamices que mediante agitación obligan a las partículas de menor tamaño a pasar por las aberturas. Tiene una buena eficiencia hasta tamaños de partículas de hasta 44 mm. Esta técnica es usada en el laboratorio.

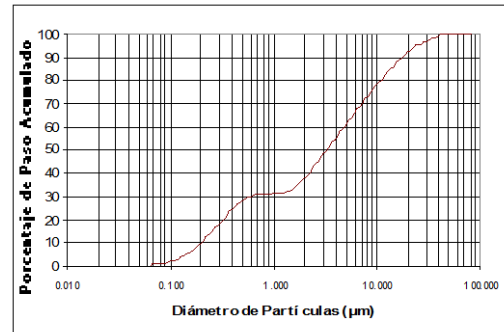


FIGURA 2.1 CURVA DE UNA MUESTRA GRANULOMÉTRICA DE ARCILLA

### 2.2 Transporte de sólidos

Aquí se estudian el transporte de materiales o partículas mediante un fluido, en este caso aire. Al fluido se les aplica energía mecánica, y esta acción acelera las partículas, elevándolas, venciendo las pérdidas de presión, en este caso se utiliza un ventilador. Estudios realizados por Zenz y Othmer en las fases fluido-sólido ayudan a comprender la transportación.

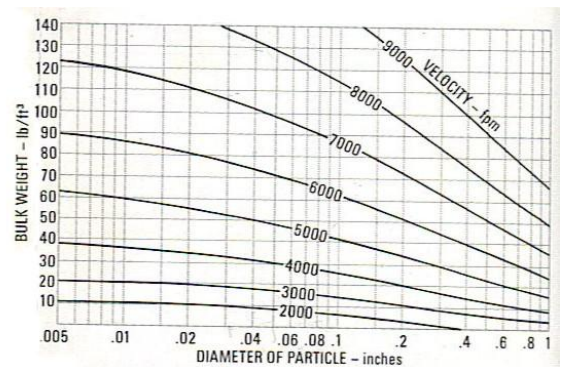


FIGURA 2.2 VELOCIDADES DEL AIRE PARA TRANSPORTAR SÓLIDOS

#### 2.2.1 Métodos de Alimentación de Material en el sistema

Se utilizan varios métodos para introducir el material en cualquier sistema, pero se necesitará controlar el

flujo, para esto se selecciono el de estrella o válvula rotativa.

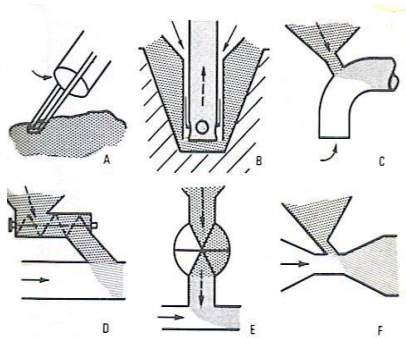


FIGURA 2.3 MÉTODOS DE ALIMENTACIÓN DE MATERIAL

### Carga de Material

Se analizara la cantidad de material mediante la selección de la tubería.

#### 2.2.2 Velocidad de Flotación

Si la partícula puede arrastrarse una corriente a una velocidad de flotación es considerada aerodinámica.

$$V_f = \sqrt{\frac{2 \epsilon \rho_m v_p}{C_D \rho_a A_p}} \quad \text{Ec. 2.1}$$

El coeficiente de arrastre, es usualmente 1 para cilindros y 0.5 para esferas.

La velocidad relativa es la diferencia entre la velocidad del material y del aire.

$$V_r = V_f(0.18 + (V_a \times a)) \quad \text{Ec. 2.3}$$

### 2.3 Filtración de Gases

Es el proceso de separación de partículas en un flujo a través de medios porosos. Se aplica en diferentes aplicaciones como en protección respiratoria y limpieza de gases. Existen dos clases de filtración, la filtración realizada por el medio poroso “deep filtration” y la realizada por la capa formada de material acumulado en el filtro “cake filtration”.

#### 2.3.1 Limpieza por vibración

Cuando se satura el filtro, se forma una gran capa de material, aplicando vibración lo sacude en este caso al filtro de mangas, desprendiendo el material

#### 2.3.2 Limpieza por pulsos de aire

Al momento de saturarse, se inyecta aire en la parte interior de la manga, haciendo que se desprenda la torta y se coloque en la parte inferior de la manga.

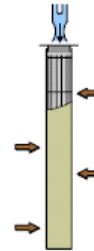


FIGURA 2.6 FILTRO DE LIMPIEZA POR AIRE COMPRIMIDO

#### 2.4 Caída de presión durante la filtración

La caída de presión total es la sumatoria de las perdidas por fricción, por el medio filtrante, el material y el diseño estructural.

$$\Delta P = \Delta P_f + \Delta P_p + \Delta P_s \quad \text{Ec. 2.4}$$

Esta se la puede representar como

$$\Delta P = \frac{V_f \mu_g \delta_f}{K_f} + \frac{V_f \mu_g L V_f t}{K_p \rho_L} \quad \text{Ec. 2.9}$$

Esto es que la caída de presión aumenta, debido a que la capa de material aumenta con el tiempo.

El arrastre es la relación entre la caída de presión y la velocidad superficial de filtración.

$$s = S_o + (K_2)_c W_c + K_2 W_o \quad \text{Ec. 2.12}$$

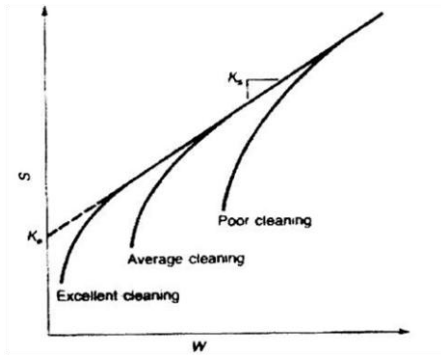


FIGURA 2.7 CURVA TÍPICA DE FUNCIONAMIENTO

Dennis y Kleim desarrollaron una ecuación empírica, mediante experimentación.

$$\Delta P = 6.08 V_f P_f^{-0.65} + K_2 V_f L_i \theta \quad \text{Ec. 2.14}$$

### 3 Selección y diseño del sistema

#### 3.1 Diseño de Forma.

El sistema contendrá los siguientes elementos: ventilador, dosificador, ductos y filtros.

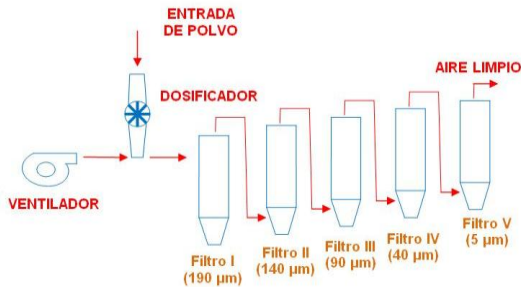


FIGURA 3.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE SEPARACIÓN DE POLVO

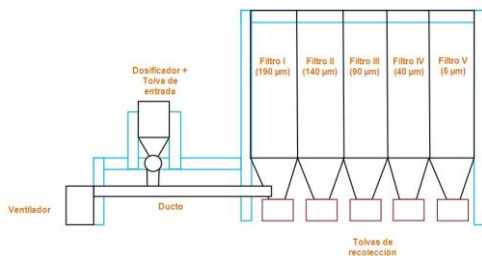


FIGURA 3.2 DISEÑO DE FORMA DEL SISTEMA DE SEPARACIÓN DE POLVO

#### 3.2 Diseño del Sistema de Alimentación

Comprenderá de una tolva de entrada más una válvula rotativa de estrella. El flujo de material será de 1 kg/ min

A continuación se detalla las velocidades calculadas.

	Velocidad (fpm)	Presión dinámica (in wg)
Velocidad del aire	8500	4.5
Velocidad de flotación	473	0.014
Velocidad relativa aire-material	346	0.007
Velocidad del material (vertical)	8027	4.02
Velocidad del material (horizontal)	8154	4.14

El diámetro de la tubería estará determinado por el diseño de las manga.

Se escoge el diámetro de la tubería de 2", debido al que mantiene la velocidad mínima del material en todo el sistema y las mínimas pérdidas de fricción.

#### 3.3 Diseño del Sistema de Filtración

Se selecciona el sistema de limpieza por pulsos de aire, debido a la disminución de las dimensiones del equipo. Las extensiones de las mangas se eligió la medida 4.5 x 60", dada por los fabricantes de las misma.

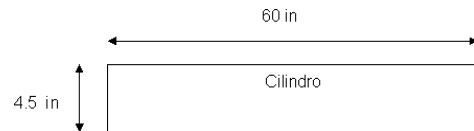
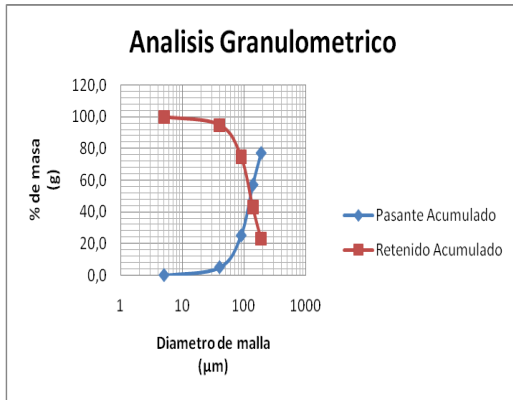


FIGURA 3.3 DIMENSIONES DE LA MANGA A USARSE

TABLA 7 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MODIFICADO

Tamaño del Filtro (µm)	Masa filtro (g)	Masa malla (%)	Pasante Acumulado (%)	Retenido Acumulado (%)	Diámetro promedio (µm)
190	2,3	23,0	77,0	23,0	89,3
140	2,0	20,0	57,0	43,0	77,1
90	3,2	32,0	25,0	75,0	66,6
40	2,0	20,0	5,0	95,0	50,0
5	0,5	5,0	0,2	100,0	5,0



**FIGURA 3.4 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MODIFICADO**

Una vez calculada todas las pérdidas de presión en el sistema, se selecciona el ventilador.

**TABLA 9  
CAÍDA DE PRESIÓN TOTAL**

	$\Delta P$	
Presión por filtrado	17,31	
Entrada de la cámara de separación	0,11	
Perdidas en codos	3,66	
Perdidas en reducciones	2,22	
<b>Perdidas en ductos</b>		
Ductos de entrada 2"	1,5 m	1,74
Ductos conectores de filtros 2"	4 m	1,74
<b>Caída de Presión Total</b>	<b>26,77</b>	

**TABLA 10**

**ESPECIFICACIONES DEL VENTILADOR**

presión Total	26,77
eficiencia	70,00%
caudal	185,30
potencia del	1,1

### 3.3.1 Cálculo de tiempo para la limpieza del pulso

Se estableció el tiempo de limpieza como el de máxima eficiencia y el tiempo de prolongación. Se seleccionó un tiempo de filtrado de 1 minuto, y el tiempo de limpieza elegido es 250 ms, a una presión de 80 psi.

## 4 Análisis de Costos

### 4.1 Factibilidad de implementación del diseño

Se detalla el cronograma de trabajo y el análisis de costos de todo el sistema.

### 4.2 Cronología de Construcción del sistema.

Desde la revisión, hasta la puesta en marcha, el proyecto se lo terminaría en 6 semanas, la primera semana se la utilizaría para la revisión y aprobación, compras de materiales y equipos localmente y la recepción de los mismos. En las siguientes cuatro semanas nos dedicaríamos a la construcción, corte y rolado de planchas, construcción de reducciones y accesorios, construcción del soporte, instalación de equipos; y recubrimiento del sistema. La última semana sería la de las pruebas y calibraciones respectivas, además de la puesta en marcha.

### 4.3 Análisis de costo para la implementación del sistema.

Este análisis incluye los componentes de la estructura y filtro de mangas, sistema de limpieza y sistema de alimentación, dando 1 costo total aproximado de \$5,577.18

## 5 Conclusiones y Recomendaciones.

Se basó en el proceso que seguí para diseñar y dimensionar los diferentes componentes que se requiere para instalar un sistema de recolección de partículas de arcilla para un laboratorio.

La implementación del sistema es necesaria, debido al creciente número de estudiantes en la Facultad.

Se pudo solucionar algunos problemas del actual equipo, en especial el ahorro del tiempo en los procesos de recolección y medición de las muestras, además de mejorar la eficiencia en la recolección y la anulación de la contaminación producido por el ruido.

En comparación con un filtro individual importado, de la capacidad requerida, su precio puede llegar hasta los \$ 1,200, que no incluyen el ventilador y los sistemas de control, siendo su costo total de \$9,000 más los costos de importación que aproximadamente le agregaría un 30% del costo.

### Recomendaciones:

Aplicar calibraciones, antes de poner en funcionamiento el sistema. Sobre todo en el dosificador de polvo, regulación en el ventilador, y del sistema de válvula selenoide.

Realizar cambios anuales de las mallas debido al desgaste que ocasiona el polvo por la abrasión del mismo.

### BIBLIOGRAFÍA

- BUFFALO FORGE COMPANY, Fan Engineering, Octava Edición, 1983
- CATÁLOGO TÉCNICO SALVADOR ESCODA, Manual práctico de Ventilación, S.A.
- PERRY, Robert, Perry's Chemical Engineers' Handbook, Séptima Edición, Mc Graw Hill, 1999

- Clases de Procesamiento de Cerámicos, Dra. Cecilia Paredes. Caracterización.pdf
- Clases de Procesamiento de Cerámicos, Dra. Cecilia Paredes. Introducción.doc
- [www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html](http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html)
- [www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/](http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/)
- [depa.fquim.unam.mx/procesos/PDF/Procesos I.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/procesos/PDF/Procesos%20I.pdf)
- [www.cincinatifan.com](http://www.cincinatifan.com)

---

Ing. Francisco Andrade L.  
DIRECTOR DE TESIS  
Guayaquil, 06 de Octubre del 2010