

# Tostación de concentrados mediante el horno Nichols Herres Hoff

## Roasting concentrates by Nichols Herres Hoff furnace

Eusebio Dionicio<sup>1</sup>, Samuel Rosario<sup>1</sup>, Aquiles Figueroa<sup>1</sup>, Oswaldo Gonzales<sup>1</sup>, Víctor Vega<sup>1</sup>, Manuel Caballero<sup>1</sup>

RECIBIDO: 23/04/2015 - APROBADO: 07/05/2015

### RESUMEN

En el horno de tostación de tipo laboratorio: Nichols Herres Hoff, 18" I.D., que dispone la EAP de Ing. Metalúrgica, se puede hacer investigación de tostación con concentrados sulfurados. En el horno de tostación tipo solera de 10 kg de capacidad se ha experimentado la tostación de un concentrado sulfurado de zinc. Para el proceso de tostación se han seleccionado dos variables: la temperatura y el aire dosificado en dos niveles para producir el producto de calcina de zinc. En el presente trabajo se ha aplicado el diseño factorial: 22, regresión lineal y cálculos de fórmulas de Excel, lo cual da como resultado:

$$y = -128.025 + 0.309x_1 + 0.075x_2$$

**Palabras clave:** Tostación, lecho fijo, tostación de sulfuros.

### ABSTRACT

In the Nichols Herres hoff 18" I.D. Roast Oven belonging to the EAP of Metallurgic Engineering it's possible to research roasting of sulfur concentrate. In the Solera type Roast Oven of 10 Kg of capacity, roasting of Zinc sulphide concentrate has been tested. Two variables has been selected for Roasting Process: Temperature and dosed air in two levels to produce Zinc calcine. In the following report, factorial design 22, linear regression and Excel math formulas have been applied, resulting:

$$y = -128.025 + 0.309x_1 + 0.075x_2$$

**Keywords:** Roasting, fixed bed, roasting of sulphides

<sup>1</sup> Docente de la Escuela de Ingeniería Metalurgia. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Email: edioniciop@gmail.com

## I. INTRODUCCIÓN

### I.1 Sistemas de lecho empaquetado y lecho fluidizado

La gran mayoría de las reacciones metalúrgicas son heterogéneas y pueden ser clasificadas como sigue: sólido-gas, líquido-gas, sólido-líquido y líquido-líquido. Ahora debemos examinar el comportamiento de estos sistemas de ingeniería que son usados para reacciones sólido – gas; estos juegan un papel muy importante en procesos de metalurgia, particularmente en el tostado de sulfuros metálicos y en la reducción de óxidos de metal.

Los procesos sólido-gas pueden clasificarse en los dos siguientes grupos:

1. Lechos de relleno fijos y móviles.
2. Lechos fluidizados y sistemas de transporte neumático.

Los procesos de lecho de relleno fijo son operaciones en donde no hay movimiento de sólidos ni con respecto a uno u otro o con relación de las paredes del reactor. Este es cargado con los sólidos y los reactivos gaseosos son pasados a través del lecho. Al final del periodo de reacción, los sólidos que reaccionaron son removidos del reactor y un nuevo ciclo comienza. El horno de coque usado en la industria del acero es un ejemplo de operación de lecho fijo.

En reactores de lecho fluidizado, los sólidos son transportados a través de la zona de reacción por gravedad, como en el caso del alto horno y el reactor de eje vertical, o mecánicamente, como en el caso del lecho sinterizado. En algunos casos el movimiento de los sólidos toma lugar bajo la combinación de fuerzas mecánicas y de gravedad; ejemplos son el tostador de solera múltiple y el horno rotatorio.

En sistemas fluidizados, un lecho de sólidos divididos finamente es elevado y agitado por una corriente ascendente de gas o líquido. A bajas velocidades de gas, el efecto levantador del lecho es leve y el sistema se comporta como un líquido en ebullición. Con el incremento de la velocidad, la proporción de partículas entrantes en la corriente de gas se incrementa hasta tal punto que todas las partículas en el lecho son transportadas por el gas. El sistema sólido-gas diseñado para trabajar de esta manera es llamado reactor de transporte neumático (Wen, Kunii y Levenspiel, 1969).

### I.2 El flujo de fluido a través de lechos empaquetados

#### I.2.1 Definición de porosidad de característica de partículas

La representación más sencilla de un lecho empaquetado es un tubo vertical lleno con partículas de tamaño uniforme (Figura N° 1). La constitución del lecho es caracterizado por los siguientes parámetros:

Fracción de porosidad

Tamaño de partícula

Factor de forma de la partícula

La fracción de porosidad es definida como:

$$\varepsilon = \frac{\text{volumen total del lecho} - \text{volumen de las partículas sólidas}}{\text{volumen total del lecho}} = \frac{V_B - V_S}{V_B}$$



Figura N°1. Lecho empaquetado fijo

El tamaño de una partícula no esférica puede expresarse en términos de diámetro de volumen equivalente, definido como:

$$d_p \equiv \text{diámetro de una esfera de igual volumen de partícula}$$

Para sólidos de irregular tamaño pero con simetría esférica aparente, el tamaño de malla es determinado por el tamaño de la malla, es una buena aproximación del diámetro de volumen equivalente. Sin embargo, en muchos casos es necesario definir la desviación del tamaño de partícula de una esfera, cuantitativamente, por un factor de corrección que es llamado el factor de tamaño. Un número de factores de tamaño han sido propuestos en la literatura. Uno de estos es el factor de tamaño Leva, el cual ha sido ampliamente aceptado y es definido como:

$$\phi_s = \frac{\text{área de superficie de la esfera de igual volumen de partícula}}{\text{área de superficie de partícula}}$$

Se puede ver que para una partícula esférica,  $\phi_s = 1$ , y para cualquier otra forma de partícula,  $\phi_s < 1$ . Valores típicos para diferentes materiales son mostrados en la Tabla N° 1.

Tabla N° 1. Valores típicos

Material	Factor de tamaño, $\phi_s$
Arena de Ottawa (casi esférica)	0.95
Arena (angular)	0.73
Polvo de tungsteno	0.89
Polvo de combustión (agregados)	0.55
Polvo de combustión (esférico)	0.89
Carbón triturado (hasta 3/8 in.)	0.65
Carbón pulverizado	0.73
Polvo de sílica	0.55-0.63
Berl saddles (material de empaquetado)	0.30

Usando las definiciones de porosidad, diámetro de volumen equivalente y factor de tamaño, se puede expresar el área de superficie por unidad de volumen de lecho empaquetado como:

$$\text{Area de superficie específica} = a = \frac{6(1 - \varepsilon)}{\phi_s d_p}$$

**1.3 Caída de presión en lecho empaquetado – la ecuación de Ergun**

La caída de presión en un lecho empaquetado puede relacionarse al flujo de gas a través de este por medio de la siguiente relación empírica propuesta por Ergun (1952):

$$\frac{g_e \Delta P}{L} = 150 \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \frac{\mu u_0}{(\phi_s d_p)^2} + 1.75 \frac{(1 - \varepsilon)}{\varepsilon^3} \frac{\rho_g u_0^2}{\phi_s d_p}$$

Donde:

- $g_e$  = factor de conversión (por ejemplo, 32.2 libras fuerza/s<sup>2</sup>)
- $\Delta P$  = caída de presión a través de L
- L = profundidad del lecho
- $\varepsilon$  = porosidad del lecho
- $\rho_g, \mu$  = densidad del gas, viscosidad del gas
- $u_0$  = Velocidad del gas superficial (flujo volumétrico / sección transversal del lecho)

La ecuación de Ergun puede escribirse como:

$$\frac{\Delta P}{L} = K_1 \mu u_0 + K_2 u_0^2$$

Donde  $K_1$  y  $K_2$  son constantes, esto es, independiente del flujo de gas. La forma de la ecuación de Ergun muestra una analogía clara de la correlación de la caída de presión en un flujo de tubería. En consecuencia, investigaciones recientes consideran a los lechos empaquetados como muchos tubos capilares en paralelos y sugieren que el término  $K_1 \mu u_0$  de la ecuación de Ergun corresponde al flujo laminar a través de capilares, mientras que el término parabólico  $K_2 u_0^2$  señala la existencia de un régimen turbulento a altas velocidades de flujo.

Sin embargo, trabajos nuevos han demostrado que el término de segundo orden puede atribuirse a la repentina expansión de gas en los pasajes a través de los poros entre las partículas empaquetadas, en vez del inicio de la turbulencia (Davidson et al., 1960).

**II. MATERIALES Y MÉTODOS**

En el horno de tostación tipo solera de 10 kg de capacidad se ha experimentado la tostación de un concentrado de zinc.

En el presente trabajo se aplica el diseño factorial 2<sup>2</sup> y la solución mediante la técnica de regresión lineal:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k$$

Se aplica el diseño factorial 2<sup>k</sup> al presente estudio, donde  $k = 2$ . Las variables independientes son el porcentaje de aire y la temperatura, y la variable dependiente es el

porcentaje de óxido de zinc en la calcina (Figuroa, A, 2010).

Donde  $b_0$  es una constante y  $b_1$  y  $b_2, \dots, b_k$  son los coeficientes parciales de regresión. (Figuroa, 2010).

**2.1 Datos experimentales**

**2.1.1 Concentrado de Zinc**

Tabla Nº 2. Análisis granulométrico: peso de muestra 90.000 g.

Abertura (μ)	malla	g.Ac (+)	g.Ac (-)	% Ac (+)	% Ac (-)
150	100	0	90	0	100
75	200	12.331	77.669	13.701	86.299
45	325	29.745	47.924	46.75	53.25
38	400	3.934	43.99	51.121	48.879

Tabla Nº 3. Composición Química

% Zn	% Fe	% S
53.08	6.37	31.8

Tabla Nº 4: Datos del Resultado del proceso de Tostación

ZnO (Y)	Temperatura (X1)	Aire (X2)
60,8	600	50
76,9	650	50
65,2	600	100
80	650	100

ΣY/n	ΣX1/n	ΣX2/n
70,725	625	75
<b>B0</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>
-128,025	0,309	0,075

**Resultados aplicando fórmulas en Excel**

$$y = -128.025 + 0.309x_1 + 0.075x_2$$

**III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

De acuerdo a las pruebas a mayor temperatura y mayor porcentaje de aire, se obtienen altos porcentajes de óxido de zinc. Tabla Nº 2,3,4.

Del proceso de autocombustión de la carga de sulfuro de zinc, ayudado por la combustión del gas propano y el rastrillar mecánico, se obtiene una calcina homogénea.

Es posible que la formación de ferrita en la calcina de zinc esté influenciada por la alta temperatura del proceso.

#### IV. CONCLUSIONES

La tostación de concentrados de zinc se realiza eficientemente en hornos de lecho de cama fija utilizando el calor de autocombustión.

El horno de tostación Nichols Herres Hoff es sensible a dos variables: temperatura y porcentaje de aire suministrado.

Para el diseño de las pruebas en el horno de laboratorio, se ha elegido el diseño factorial  $2^2$  seleccionando las dos variables más significativas en los procesos de tostación, como son la temperatura y el aire.

La técnica de regresión lineal aplicando fórmulas en Excel da como resultado la ecuación:

$$y = -128.025 + 0.309x_1 + 0.075x_2$$

#### V. AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al Vicerrector de Investigación Dr. Bernardino Ramírez Bautista por su apoyo al presente proyecto de investigación que hizo posible la puesta en funcionamiento del horno Nichols Herres Off.

#### VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Davidson, J.F; Harrison D. (1960). *Fluidized Particles*, Cambridge Univ. Press, New York. Ergun, S. (1952). *Chemical. Engineering. Progr.* 28, 89 (1952).
2. Figueroa, A. (2010). *Optimización y Simulación de Procesos Metalúrgicos*. 1era edición, UNMSM.
3. Wen C.Y; Kunii Y.H; Levenspiel, O. (1969). *Fluidization Engineering*, Wiley, New York.