

**ecimetal**  
 EMPRESA COMERCIAL PARA LA  
 INDUSTRIA METALURGICA Y  
 METAL-MECANICA



Dedicada a la atención de las ramas del desarrollo metal-mecánico y geológico-minero; ECIMETAL es una institución que brinda sus servicios en la realización de proyectos, estudios, suministros de equipos y materiales, así como asistencia técnica para la instalación de plantas industriales, líneas tecnológicas, completamiento de plantas y entrenamiento de personal.

Empresa ECIMETAL: Habana, Cuba Apto. 6124, Telex 51-1555

© 1987

# ANALISIS DEL PROCESO DE CALCINACION DEL CARBONATO BASICO DE NIQUEL EN EL HORNO TUBULAR ROTATORIO COMO OBJETO DE REGULACION AUTOMATICA

Ing. Angel O. Columbié Navarro;  
 Ing. Antonio Muñoz Moner;  
 Ing. Daniel Guzmán del Río,

Instituto Superior Minero Metalúrgico

**RESUMEN** En este trabajo se exponen los resultados obtenidos por los autores en el estudio del proceso de calcinación del carbonato básico de níquel como objeto de regulación automática. Se muestra la clasificación de los parámetros que intervienen en el proceso desde el punto de vista del control automático, y se incluye, además, la modelación matemática del mismo".

**ABSTRACT** In this work, are exposed the results, obtained by the authors on the study of the basic nickel carbonate calcination process as automatic regulation object. It's shown the clasification, from the viewpoint of the automatic control, of the parameters that have influence on the process, and it's included the mathematical modelling of him.

La calcinación es el proceso de tostación del material, en el cual ocurre la descomposición del mismo por el calor. Para ello se utiliza el horno de tambor rotatorio, donde es calcinado el Carbonato Básico de Níquel (C.B.N.) mediante la combustión de petróleo precalentado.

El horno para la calcinación del C.B.N. es un equipo de transferencia de calor y masa, construido en forma de un horno rotatorio con una inclinación de dos grados al horizonte, como una instalación de transporte. El C.B.N. llega al horno por la parte superior a partir de los filtros de vacío, mediante un sistema transportador de banda y tornillo se traslada a lo largo del mismo por una trayectoria compleja, atravesando cuatro zonas: la de secado, de cadenas, de calcinación y de enfriamiento.

La zona de cadenas es la zona del horno en la cual se encuentran un gran número de cadenas con el objetivo

de aumentar la superficie de secado, ya que ellas absorben el calor de los gases y se lo transmiten al carbonato, además evitan que se formen terrones grandes del material. Para la mejor comprensión del proceso de secado es conveniente dividirlo en tres etapas [1].

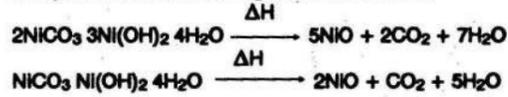
En la primera etapa el carbonato que se encuentra en forma de pasta, eleva su temperatura hasta 90° C y sólo un pequeño por ciento de agua es evaporada. Aquí existe cierta condensación del vapor de agua de los gases que salen, al ponerse en contacto con la pasta fría. En esta etapa la pasta mantiene fluidez y "humedece" las cadenas, exponiendo una gran superficie de secado a los gases calientes y reteniendo una gran cantidad de polvo arrastrado por los gases.

En la segunda etapa la pasta es secada parcialmente y se vuelve pegajosa, se pega al revestimiento del

horno y puede formar anillos de pasta, constituyendo la etapa más difícil del proceso húmedo.

En la última etapa la pasta es transformada en gránulos con un contenido de agua aproximadamente de un 12 - 20 %, siendo la resistencia de los mismos muy importante para el trabajo de la zona completa, la cual depende además de la composición mineralógica del material.

Ya en la zona de calcinación el carbonato se descompone a través de las siguientes reacciones:



De esta zona sale el material con una composición de Ni  $\geq$  76 % Co  $\leq$  1,3 %, Fe  $\leq$  0,7 %, S  $\leq$  0,03 %, Mg  $\leq$  0,09 %. El dióxido de carbono y el vapor de agua son evacuados con los gases producidos de la combustión (SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO) y con las partículas de óxido de níquel en suspensión.

Después de la calcinación el óxido de níquel es enfriado previamente en una doble pared, enfriada mediante duchas exteriores que lo bañan con agua a temperatura ambiente y la piscina donde se encuentra sumergida parte del enfriador, garantizándose así el contacto indirecto entre el NIO y el agua. Este óxido de níquel a una temperatura de 100 - 150 °C constituye el producto final del horno de calcinación.

En estas tres etapas mencionadas es necesario mantener un régimen aerodinámico y térmico adecuado para el desarrollo exitoso del proceso, resultando el intercambio térmico algo complejo, donde el portador principal de calor son los gases producidos de la combustión del petróleo. En este proceso de transferencia de calor a lo largo del horno pueden destacarse tres vías fundamentales de transmisión por radiación y convección de los gases directamente al carbonato en la parte del horno cubierta por éste y de las cadenas al material en la zona de cadenas, y por radiación de la parte del horno no cubierta por el material a este último.

Los gases de la combustión se mueven a través del horno a una velocidad que depende del tiro inducido, y en sentido contrario (a contracorriente) al desplazamiento del material, con el cual se ponen en contacto, transfiriendo su calor a éste, asimilando la humedad y el dióxido de carbono desprendido por el material.

El horno de calcinación resulta un objeto de regulación automática bastante complejo, con un gran número de parámetros de entrada y salida, los cuales se encuentran en una compleja interdependencia. En la figura 1 se muestra el esquema estructural de la interacción de los parámetros principales del proceso de calcinación del carbonato básico de níquel en el horno rotatorio alimentado con mazut. Los parámetros de entrada del proceso son:

- Q<sub>A</sub> - flujo de aire primario
- Q<sub>p</sub> - flujo de mazut
- Q<sub>a</sub> - flujo de aire secundario
- 2CO<sub>3</sub> - flujo de carbonato básico de níquel
- n - velocidad de rotación del horno
- P<sub>tiro</sub> - presión del tiro inducido de los gases
- T<sub>H<sub>2</sub>O</sub> - temperatura del agua de enfriamiento;

Q<sub>H<sub>2</sub>O</sub> - flujo de agua de enfriamiento  
Como parámetros de salida se destacan los siguientes:

- O<sub>2</sub> - concentración O<sub>2</sub> en los gases de salida
- T<sub>1</sub> - temperatura en la cámara de combustión
- T<sub>2</sub> - temperatura en la zona de calcinación
- T<sub>3</sub> - temperatura en la zona de cadenas
- T<sub>4</sub> - temperatura de los gases de salida
- T<sub>5</sub> - temperatura de los gases a la entrada de los electrofiltros.

t<sub>NIO</sub> - temperatura del óxido de níquel producto  
Q<sub>NIO</sub> - flujo del NIO obtenido  
ρ<sub>NIO</sub> - densidad del NIO  
[S]<sub>NIO</sub> - concentración de azufre en el NIO  
Además de estos parámetros, resulta importante destacar algunas perturbaciones propias de este proceso y que ejercen una influencia notable sobre el mismo.

- Q<sub>polvo</sub> - flujo del polvo de recirculación de los electrofiltros
- ω<sub>0</sub> - humedad del carbonato
- ρ<sub>CO<sub>3</sub></sub> - densidad del carbonato
- t<sub>CO<sub>3</sub></sub> - temperatura del carbonato
- T<sub>p</sub> - temperatura del mazut
- P<sub>p</sub> - presión del mazut
- P<sub>v</sub> - presión del vapor para atomización
- P<sub>A</sub> - presión del aire primario
- T<sub>refr</sub> - temperatura del refractorio
- T<sub>amb</sub> - temperatura ambiente

Como puede observarse de la figura 1 la interacción entre los parámetros del horno resulta sumamente compleja. No obstante, algunas de las perturbaciones pudieran ser despreciadas en un análisis del objeto más general.

Especial interés tienen en este proceso los canales: P<sub>tiro</sub> - O<sub>2</sub>, Q<sub>CO<sub>3</sub></sub> - Q<sub>M</sub> - T, Q<sub>M</sub> - [S]<sub>NIO</sub>, T<sub>4</sub> - Q<sub>M</sub> - Q<sub>A</sub> y T<sub>3</sub> - P<sub>tiro</sub>.

Debe señalarse que en estos canales ejercen notable influencia parámetros de otros canales, lo cual demuestra la alta complejidad del proceso y horno de calcinación como objeto de regulación automática.

El análisis del proceso como objeto de regulación automática lleva a la modelación matemática. La representación matemática de la dinámica del proceso de calcinación resulta conveniente hacerla de forma estructurada. Para esto pueden definirse cuatro subprocesos elementales [2]: tecnológico, energético, transferencia de calor y transferencia de masa. En este caso, tomando como ejemplo la zona de calcinación, la cinética de la reacción química puede ser descrita por la ecuación:

$$-\frac{dC_{CO_3}}{dt} = k(T) C_{CO_3} \quad (1)$$

- donde:
- C<sub>CO<sub>3</sub></sub> - concentración del carbonato de níquel en el material
- T - temperatura del material
- k(T) - constante de velocidad de la reacción
- t - tiempo

El balance térmico del proceso desemboca en - para el sólido

$$\rho c v \frac{dT}{dt} = c Q_{M_0} T_0 + \alpha \sum_{gs} S_{gs} (T_g - T) +$$

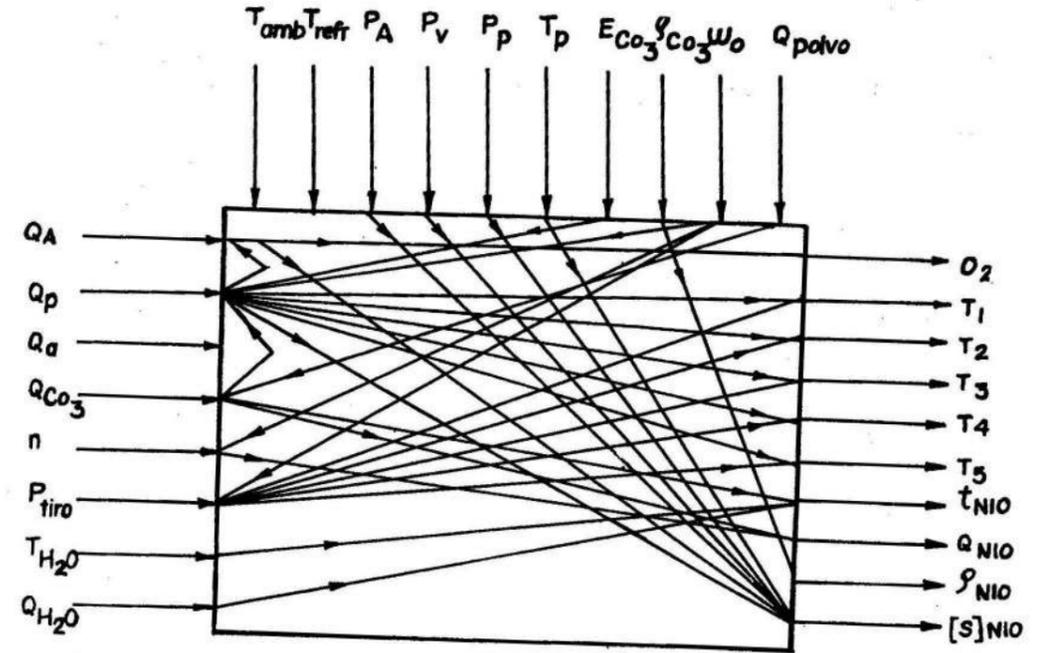


Figura 1 Esquema estructural del proceso de calcinación del carbonato básico de níquel como objeto de regulación automática

$$+ \alpha \sum_{ps} S_{ps} (T_p - T) - c Q_M T - Q_{quim} \quad (2)$$

donde:

- ρ - densidad del material en la zona
- c - capacidad calorífica másica específica del material
- Q<sub>M<sub>0</sub></sub>, Q<sub>M</sub> - flujo de material a la entrada y salida de la zona
- αΣ<sub>gs</sub>, αΣ<sub>ps</sub> - coeficientes sumarios de transferencia de calor del gas al sólido y de la pared al sólido respectivamente
- S<sub>gs</sub>, S<sub>ps</sub> - áreas de transferencia de calor entre gas y el sólido y entre la pared y el sólido respectivamente.
- T<sub>g</sub> - temperatura de los gases
- t<sub>p</sub> - temperatura de la pared
- T - temperatura del material
- T<sub>0</sub> - temperatura inicial del material
- Q<sub>quim</sub> - calor consumido en las reacciones químicas

$$- \text{para los gases}$$

$$C_g V_g \frac{dT_g}{dt} = \alpha \sum_{gs} S_{gs} (T_g - T) + \alpha \sum_{gp} S_{gp} (T_g - T_p) - Q_p h^i \quad (3)$$

donde:

- C<sub>g</sub> - capacidad calorífica volumétrica específica del gas
- V<sub>g</sub> - volumen del gas
- Q<sub>p</sub> - flujo de petróleo
- h<sup>i</sup> - potencia calorífica inferior del combustible
- αΣ<sub>gp</sub> - coeficientes sumarios de transferencia de calor del gas a la pared.

La transferencia de masa queda definida por las expresiones:

- para el mineral

$$\frac{dM}{dt} = Q_{M_0} - Q_M - Q_{prg} \quad (4)$$

siendo

- Q<sub>M<sub>0</sub></sub>, Q<sub>M</sub> - flujos de material a la entrada y salida de la zona respectivamente
- Q<sub>prg</sub> - flujo de los productos gaseosos de la reacción.

M - masa del material en la zona

$$M \frac{dC_{CO_3}}{dt} = Q_{M_0} C_{CO_3} - k(T) M C_{CO_3} \quad (5)$$

C<sub>CO<sub>3</sub></sub> - concentración inicial del carbonato en el material

- para la combustión

$$\frac{dM_p}{dt} = Q_p + Q_A - Q_{pc} \quad (6)$$

donde:

- M<sub>p</sub> - masa de la mezcla combustible
- Q<sub>p</sub> - flujo de petróleo
- Q<sub>A</sub> - flujo de aire primario
- Q<sub>pc</sub> - flujo de productos gaseosos de la combustión

En este sistema debe ser incluida, además, la ecuación que describe la separación de los productos de la reacción

$$Q_{prg} = k(T) M C_{CO_3} \quad (7)$$

Es necesario resaltar que en este caso

$$Q_g = Q_{prg} + Q_{pc}$$

El sistema de ecuaciones (1) - (8), conjuntamente con el sistema similar conformado para el cobalto, constituyen el modelo matemático del proceso de calcinación de carbonato básico de níquel en un horno tubular, en el caso de la modelación por zonas de dicho horno. Este modelo una vez sometido a la identificación permite juz-

gar el comportamiento de las diferentes variables del proceso en la zona de calcinación. Un modelo con esta misma estructura para las demás zonas, completaría en definitiva, el modelo matemático del proceso y el horno en general.

#### CONCLUSIONES

Mediante el análisis del proceso de calcinación como objeto de regulación automática ha sido posible clasificar las variables del proceso en tres tipos, de entrada, salida y perturbaciones, y al mismo tiempo, descubrir la alta complejidad de la interacción de estos parámetros en dicho proceso. Así mismo, se conforma basado en los resultados del análisis realizado, el modelo matemático de la zona de calcinación, el cual una vez identificado permitirá llegar al algoritmo de regulación, necesario para la proyección del sistema de regulación automática co-

respondiente. Para la obtención del modelo matemático se consideró un volumen infinitesimal de la zona de calcinación tomado a lo largo del horno. Esto, lógicamente, trae como consecuencia, que el modelo permitiría conocer la variación en el tiempo de las diferentes magnitudes para una posición determinada en la zona, o sea, para aquella en la cual sea identificado. La identificación para diferentes posiciones daría una información más completa de la zona.

#### REFERENCIAS

1. ARLIUK B., I.: "Regularidades del intercambio de calor en los hornos rotatorios". En *Tsvietnaya Metalurgia*, p. 20, No. 3, 1985.
2. ARONZON V., L.; LEBIN M., V. y SHAJOV S., V.: "Sobre el efecto homogenizador del horno rotatorio" En *Tsvietnye Metally*, p. 19, No. 10, 1982.
3. DETKOV S., P.: "Intercambio térmico en los hornos rotatorios". En *Tsvietnye Metally*, p. 12, No. 3, 1986.
4. "Manual de operaciones del horno de calcinación de la Planta de Calcinación y Sínter de la Empresa Comandante Ernesto Guevara de la Serna". 1980.
5. TIJONOV O., N.: *Modelos matemáticos simples de procesos metalúrgicos*. Leningrado, Instituto de Minas de Leningrado, 1978.



## EMISIONES GASEOSAS DE LA FABRICA "CMDTE PEDRO SOTTO ALBA" Y SU INFLUENCIA NEGATIVA SOBRE EL MEDIO AMBIENTE. PRIMERA PARTE

Ing. Angel Pérez Rodríguez

Instituto Superior Minero Metalúrgico

**RESUMEN** En la primera parte del trabajo se realizó un análisis de los principales contaminantes gaseosos que se producen en la fábrica "Comandante Pedro Sotto Alba", con el objetivo de estudiar los mismos, las causas que los provocan y su influencia negativa sobre los principales componentes de la noosfera. Se estudió el flujo tecnológico de la planta de producción de ácido sulfúrico por el método de contacto, realizándose los cálculos correspondientes a la sección de conversión.

**ABSTRACT** In the first part of the present work, a deep analysis of the most significant gaseous pollutants produced in "Comandante Pedro Sotto Alba" factory, with the objective of studying the, causes provoking these pollutants and their negative influence upon the principal components of the noosphere. The technological flow of sulphuric acid production plant through the contact method was done, making the corresponding calculations in the conversion section.

#### INTRODUCCION

El desarrollo de la revolución científico-técnica, unido a la creciente actividad del hombre a escala industrial, ha traído consigo cambios positivos en el mundo. Paralelo a este desarrollo, ha empeorado considerablemente el estado del medio. La contaminación de la atmósfera, los grandes depósitos de agua y el suelo por residuos sólidos, líquidos y gaseosos, provenientes de las grandes industrias y fábricas, ha llegado a límites preocupantes. El continuo empeoramiento del estado de la atmósfera puede traer graves consecuencias en el futuro desarrollo de la humanidad.

La importancia que reviste para nuestro país la aplicación y promoción de actividades encaminadas a la protección del entorno y al uso racional de los recursos

naturales, ha quedado plasmado en el Programa del Partido Comunista de Cuba "... destinar los recursos indispensables para impedir el deterioro del ambiente; aplicar en las industrias las medidas que impidan la contaminación ambiental; orientar el progreso científico-técnico al aprovechamiento de los recursos naturales, y a la protección eficaz y el mejoramiento del ambiente ...".

Nuestro trabajo, en su primera parte, tuvo como objetivo el estudio y caracterización de los principales contaminantes gaseosos de la fábrica "Comandante Pedro Sotto Alba". Especial atención se prestó al análisis del proceso de producción de ácido sulfúrico por el método de contacto, realizándose los cálculos de la sección de conversión.