

## Control de la dosificación de cianuro calculado con ajuste automático

C. G. Palafox A. \*, L. C. Sánchez M., E. F. Chaparro F., E. J. Delgado G., J. J. Torres S.

Minera San Julián S.A. DE C.V. San Julián, Guadalupe y Calvo, Chih.

\* [carlos\\_palafox@fresnilloplc.com](mailto:carlos_palafox@fresnilloplc.com)

### RESUMEN

En el yacimiento que actualmente procesa la planta de procesos está conformado por minerales de valor de Pb, Cu y Zn; dentro del mismo yacimiento se detectó una nueva zona con posibilidades de extraer minerales de Pb y Zn, esta zona es considerada de Alto Fe, con valores de hasta 40%.

Este mineral presenta problemas para obtener un efecto de concentración en los minerales de valor, ya que los concentrados obtenidos no tienen ley comercial y baja recuperación, además de presentar cinética lenta; con base las condiciones actuales de operación de la planta, como lo son granulometría y tiempo de residencia.

En este trabajo se propone un subproceso de pre-flotación para recuperar toda la materia carbonosa y destinarla a las colas, con esto se obtuvo una mejora en la cinética de los minerales de valor, así como su grado y recuperación y el consumo de reactivos, sin embargo, es necesario disminuir la granulometría de alimentación a flotación y por lo tanto, una disminución en el tonelaje alimentado a la planta.

**PALABRAS CLAVE:** *Lixiviación Dinámica, Cianuro libre, Controlador PID, Agua de proceso, Sistema de Control Distribuido,*

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el cianuro se usa universalmente debido a su bajo costo relativamente, su gran efectividad para la disolución y selectividad de minerales de oro y plata

La principal reacción de disolución de los metales preciosos se ilustra esquemáticamente en la Ec. 1, dicha ecuación fue propuesta por Elsner:



Los principales factores que afectan la velocidad de disolución del oro son: las concentraciones de cianuro y oxígeno, la temperatura, el pH, el área superficial de oro expuesta, la velocidad de agitación, fenómenos de transporte de masa, la pureza del oro y la presencia de otros iones en solución.

En la práctica, las concentraciones de cianuro generalmente se mantienen por encima de aquellas en las que se observa una disminución en la extracción, aunque las preocupaciones ambientales a menudo dictan que las concentraciones de cianuro se mantengan lo más bajas posible en la práctica. (Marsden & House, 2009)

Para obtener la máxima velocidad de lixiviación y, por lo tanto, la planta más productiva, es imperativo controlar las concentraciones tanto de cianuro como de oxígeno disuelto. Los analizadores de cianuro en línea son muy útiles para controlar la concentración óptima de cianuro en series de tanques de lixiviación. (Yannopoulos, 1991)

Durante la operación, una planta química debe proteger varios requisitos impuestos por sus diseñadores y las condiciones generales técnicas, económicas y sociales en presencia de influencias externas siempre cambiantes (perturbaciones):

- Seguridad: La operación segura del proceso químico es un requisito primordial para el bienestar de las personas en la planta y para su contribución continua al desarrollo económico
- Especificaciones de producción: Una planta debe producir la cantidad y calidad deseada en los productos finales
- Regulaciones ambientales: Leyes federales y estatales pueden especificar que las temperaturas, las concentraciones de productos químicos y las tasas de flujo de los efluentes de una planta estén dentro de ciertos límites
- Restricciones operativas: Los diversos tipos de equipos utilizados en una planta química tienen restricciones inherentes a su funcionamiento
- Economía: La operación de una planta debe ajustarse a las condiciones del mercado, es decir, la disponibilidad de materias primas y la demanda de los productos finales; por lo tanto, se requiere

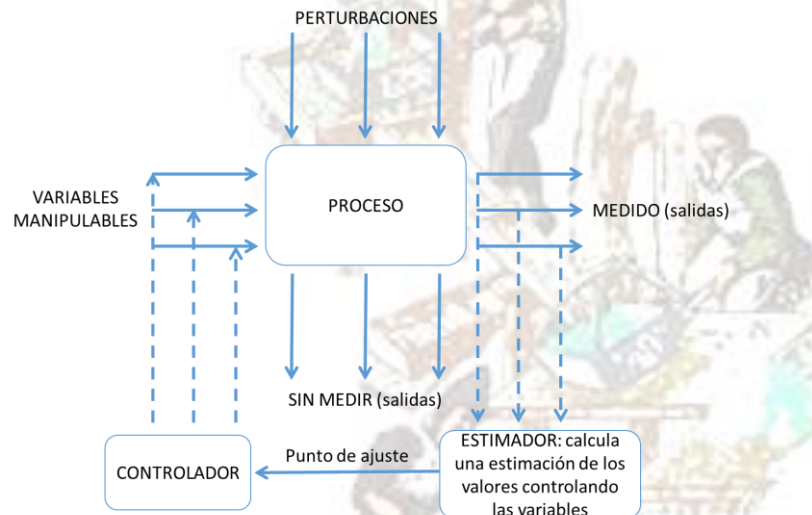
que las condiciones operativas se controlen a niveles óptimos dados de mínimo costo operativo, máxima ganancia, etc

Un sistema de control es un arreglo de componentes físicos conectados de tal manera que el arreglo pueda comandar, dirigir o regular, asimismo o a otro sistema. Estos sistemas comandan dirigen o controlan dinámicamente.

Los aspectos de diseño de un sistema de control de procesos incluyen las variables de caudal, temperatura, presión, concentración de reactivos, etc., las cuales se dividen en dos grupos:

- Variables de entrada: Es una variable del sistema elegida de tal manera que se la utiliza como excitación del sistema
- Variables de salida: Es una variable del sistema elegida de tal modo que se la utiliza para analizar los efectos que produjo una excitación en la entrada del sistema (Perez , 2007)

Dependiendo de cuántas salidas controladas y entradas manipuladas se tengan en un proceso químico, se pueden distinguir las configuraciones de control como sistema de control de entrada única y salida única o entrada múltiple y salida múltiple, como se muestra en la Figura 1 (Stephanopoulos, 1983).



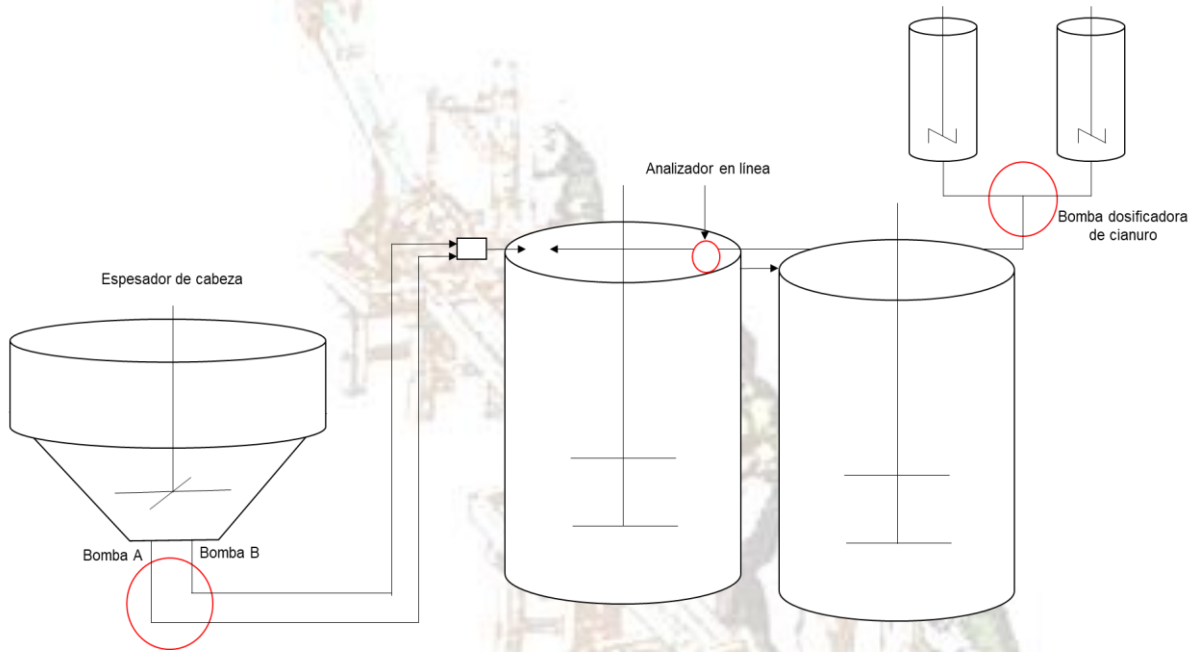
**Figura 1.-** Entrada y salida múltiple de Configuración de control inferencial

## METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Para el desarrollo del sistema de control para la dosificación automático de cianuro principalmente se dividió en 4 puntos generales.

**Identificación de entradas y salidas de cianuro libre en agitación**

Inicialmente se realizó un análisis operativo para identificar los puntos donde existe la presencia de cianuro libre en la entrada y la salida del proceso de agitación, para lo cual se realizó un muestreo y titulación con  $\text{AgNO}_3$  en los diferentes puntos del proceso. Consecutivamente se realizó un diagrama de flujo (Figura 2) para facilitar la identificación de los puntos que más afectan la fluctuación de la concentración de cianuro, con la finalidad de plantear la ecuación general en las que se involucran dichas entradas y salidas



**Figura 2.-** Diagrama de flujo del proceso de agitación

### 1.1 Formulación de la ecuación general para el sistema de control

Los puntos que más afectan la fluctuación de la concentración de cianuro son la entrada de solución del espesador de cabeza y los tanques de dosificación de cianuro.

Para plantear el modelo matemático se tomaron como variables los dos puntos mencionados en el párrafo anterior y la medición del analizador en línea de cianuro libre, además se asumió que no existe reacción química, ni consumo de cianuro. Se sacaron 3 puntos de muestreo, 2 puntos de muestreo con titulación manual y 1 con el analizador en línea de cianuro libre (Chang, 2002).

$$C_1 \cdot V_1 + C_2 \cdot V_2 = C_3 \cdot V_3 \quad [\text{Ec. 2}]$$

De la Ec.2 se despejó el  $V_2$  quedando de la siguiente forma:

$$V_2 = \frac{C_3 \cdot V_3 - C_1 \cdot V_1}{C_2} \quad [\text{Ec. 3}]$$

Además, se realizó la ecuación para el ajuste del volumen:

$$1 - \left[ \frac{\text{Punto variable de medición} - \text{Punto fijo de medición}}{\text{Punto fijo de medición}} \right] \quad [\text{Ec. 4}]$$

### **Creación de la programación en el sistema de control**

Se realizaron 5 bloques de cálculo:

- 2 bloques dedicados para la determinación de volumen de solución con ayuda de densímetros y flujómetros para cada bomba (A y B) en el bajo flujo del espesador de cabeza
- 2 bloques para el cálculo de dosificación del cianuro para cada bomba de bajo flujo del espesador de cabeza mostrado en la ecuación [Ec. 3]
- Po último, 1 bloque para el ajuste de la dosificación mostrada en la ecuación [Ec 4], este con el fin de mitigar la variabilidad del proceso

Dentro del bloque del cálculo de volumen, se añadió un factor de dosificación de cianuro debido al consumo de cianuro y a las perturbaciones que tiene el proceso.

Al final, se envió el dato de cianuro calculado con su respectivo ajuste al controlador PID del flujómetro de la bomba dosificadora de los tanques de cianuro.

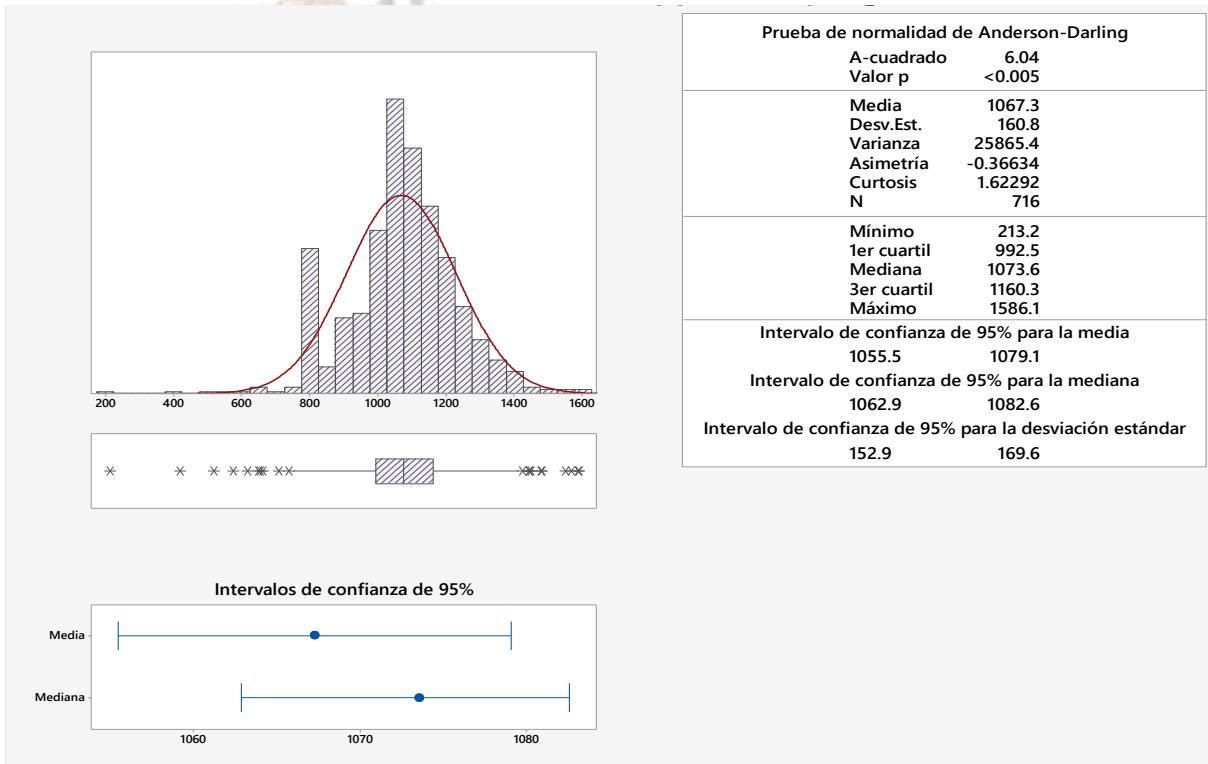
### **Análisis de muestras y verificación de perturbaciones**

Se tomaron muestras del espesador de cabeza y de los tanques de dosificación de cianuro a las cuales se les determinó la concentración de cianuro libre mediante titulación manual. Para el espesador de cabeza se toma una muestra cada 12 horas y para los tanques de dosificación de cianuro se tomó una muestra cada vez que se realizó la preparación de dicho reactivo, además se verificaron los densímetros y el equipo analizador en línea de cianuro libre, con el fin de evitar más perturbaciones al control de dosificación.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Se efectuaron 2 análisis estadísticos univariados del analizador en línea durante la prueba sin la programación y con la programación propuesta, cada análisis tuvo 716 datos con la finalidad de que fueras estadísticamente representativos, con un nivel de confianza del 95%; en estos se excluyeron los días de paro programado y los datos cuando el equipo analizador de cianuro libre en línea realizaba lavado.

Los resultados mostrados en la Figura 3 pertenecen al análisis estadístico univariado sin programación, donde se puede observar que la concentración máxima de cianuro libre fue de 1586.1 ppm y la mínima de 213.2 ppm, un rango de 1372.9 ppm, un promedio de 1067.3 ppm y un valor de desviación estándar de 160.8. El error calculado de los datos fue de 7.19% y un consumo de 1.37 kg/t molida, con respecto a la concentración requerida de 1,150 ppm.



**Figura 3.-** Análisis estadístico univariado de la concentración de cianuro libre (ppm) sin programación

En la Figura 4 muestra el análisis estadístico univariado aplicando el modelo matemático propuesto, se puede observar que la concentración máxima de cianuro libre fue de 1288 ppm y la mínima de 742 ppm, un rango de 546 ppm, un promedio de 1075.7 ppm y un valor de desviación estándar de 74. El error calculado de los datos fue de 6.46%, con respecto a la concentración requerida 1,150 ppm.

## CONCLUSIONES

- La programación empleada se mejoró la precisión de dosificación de cianuro libre de 160.8 ppm a 74 ppm, mejorando 86.8 ppm respecto a la concentración de 1150 ppm requerida
- Se mejoró la exactitud de la dosificación de cianuro con un error anterior de 7.19% a un 6.46%, una mejora del 0.73%

- La dosificación de cianuro de sodio con la programación ayudará a tener un mejor control de la alta dosificación de cianuro, mejorando el control económico y ambiental

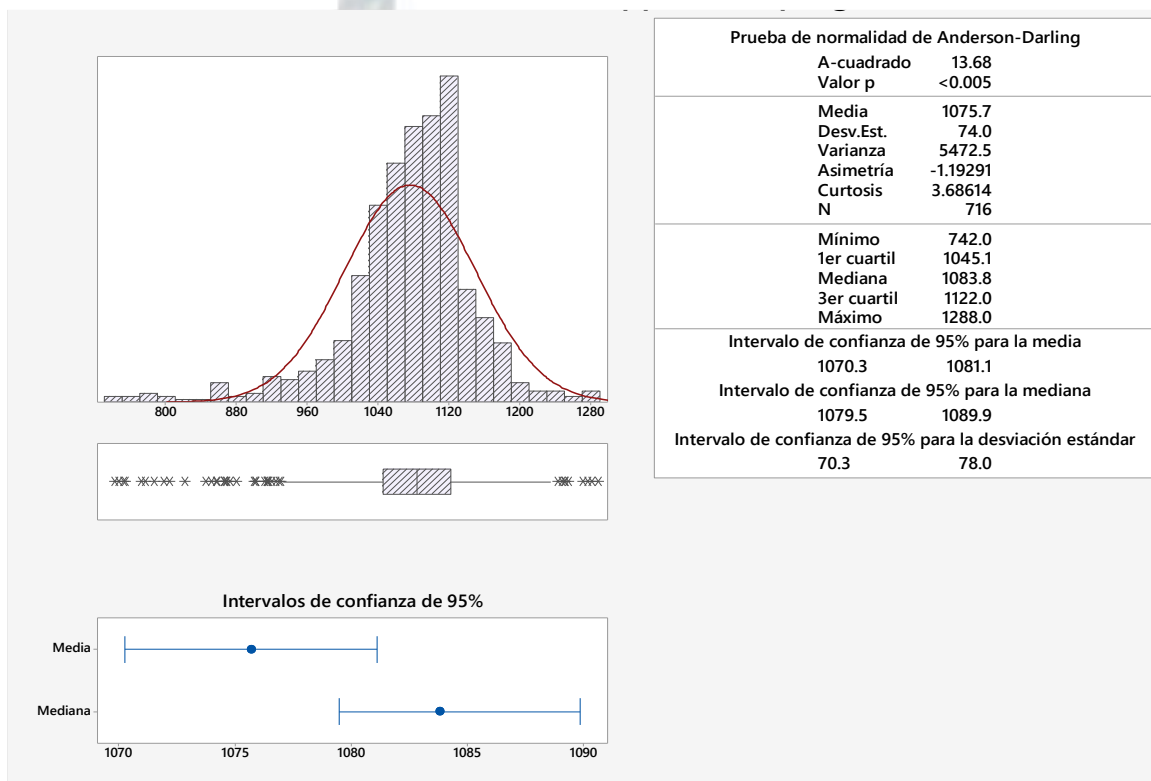


Figura 4.- Análisis estadístico univariado de la concentración de cianuro libre (ppm) con programación

## REFERENCIAS

- Chang, r. (2002). *Química*. McGRAW-HILL.
- Marsden, J., & House, I. (2009). *The Chemistry of Gold Extraction*. Colorado, USA.
- Perez , A. (2007). Introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo. 69.
- Stephanopoulos, G. (1983). *Chemical Process Control An Introduction to Theory and Practice*. New Jersey: Pearson.
- Yannopoulos, J. (1991). *The Extractive Metallurgy of Gold*. Nueva York.