
USO DE MATLAB EN LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS DE CONTROL DE CALIDAD EN EL YACIMIENTO NIQUELÍFERO LOMA DE NÍQUEL, ESTADOS ARAGUA Y MIRANDA

AURA MARÍA URDANETA, REDESCAL UZCÁTEGUI G.
Universidad Simón Bolívar. Departamento de Ciencias de la Tierra.
e-mails: ruzcategui@usb.ve, aura125@hotmail.com

Recibido: junio 2016

Aprobado para publicación: julio 2016

RESUMEN

En el yacimiento niquelífero Loma de Níquel la toma de muestras de verificación, aseguramiento y control de calidad son fundamentales para la exploración y explotación del depósito. Este proceso debe ser continuo y persistente por las siguientes razones: para detectar y corregir cualquier problema durante la fases de producción, lograr evaluaciones de recursos y reservas más confiables, realizar una correcta conformación de las pilas de homogenización, evitar el desgaste prematuro de componentes mecánicos, proporcionar estabilidad al proceso de producción metalúrgica, garantizar el cumplimiento de los presupuestos de producción establecidos, reducir los errores en la transcripción de datos y disminuir el tiempo requerido para su procesamiento. En este sentido se presentan cinco archivos de órdenes y diez funciones creadas con MATLAB para mejorar los siguientes procedimientos de aseguramiento de calidad: control de calidad de procesos geológicos-exploratorios y de producción de operaciones de mina, control de calidad para la conformación de pilas de homogenización, control de analogía de resultados químicos entre el muestreador primario y el secundario, control de validación de la base de datos de sondeos exploratorios, y el control de bloques de mineral a extraer en términos de dureza, tonelaje y contenido mineral.

Palabras clave: bloques, mineral, homogenización, geoquímica, Loma de Hierro

USE OF MATLAB FOR THE OPTIMIZATION OF QUALITY CONTROL PROCESSES IN THE LOMA DE NÍQUEL MINERAL DEPOSIT, ARAGUA AND MIRANDA STATES

ABSTRACT

In the nickeliferous field Loma de Níquel sampling verification, quality assurance and control are essential for the exploration and exploitation of the deposit. This process must be continuous and persistent for the following reasons: to detect and correct any problem during production, achieve more reliable resources and reserves assessments, secure a well-planned blending and homogenization pile system, prevent premature wear of mechanical components, provide stability to the metallurgical production process ensure compliance with the established production budgets, reduce errors in transcribing data and the time required for processing them. In this regard five scripts and ten functions created using MATLAB are presented to improve the following quality assurance procedures: quality control of geological-exploration processes and mining operations production ones processes of mining operations, homogenization pile system quality control, analogy control of chemical results between the primary and the secondary sampler, validation control of the exploratory database, and analogy control of mineral blocks to extract in terms of hardness, tonnage and mineral content.

Keywords: block, mineral, homogenization, geochemistry, Loma de Hierro

INTRODUCCIÓN

La toma de muestras de verificación, aseguramiento y control de la calidad son fundamentales durante todas las etapas del proceso de evaluación de un yacimiento mineral. Este proceso debe ser continuo y persistente con el fin de detectar y corregir cualquier anomalía y error durante todas las fases de producción y así lograr evaluaciones de recursos y reservas más confiables, una correcta conformación de las pilas de homogenización, evitar el desgaste prematuro de componentes mecánicos, proporcionar estabilidad al proceso de producción metalúrgica y garantizar el cumplimiento de los presupuestos de producción establecidos (Anglo American, 2007a). En Minera Loma de Níquel, se han establecido controles de calidad para cada uno de los procesos en las fases de exploración y producción de mina, sin embargo el procesamiento y análisis de los datos se ejecuta de forma manual en la mayoría de las fases y sólo haciendo uso de hojas de cálculo.

Esto hace necesario proponer alternativas para el manejo, procesamiento y análisis de los datos de forma sistemática y correcta. En tal sentido se presenta una librería de funciones haciendo uso del *software* matemático MATLAB, un lenguaje interpretado independiente de la plataforma, con gran cantidad de librerías para el análisis y la visualización de datos técnicos (Chapman, 2008), para optimizar los procesos de control de calidad geológico-exploratorios y de producción implementados en el yacimiento, con el objetivo de cumplir con los requerimientos previamente señalados y adicionalmente reducir los errores y el tiempo requerido para el procesamiento de los datos. Los códigos y un manual de uso de 106 páginas con una explicación detallada del diagrama de flujo de las distintas funciones pueden ser solicitados a los autores mediante un correo electrónico o consultados en Urdaneta (2014).

YACIMIENTO NIQUELÍFERO LOMA DE NÍQUEL

En la literatura geológica la zona de estudio ha sido tradicionalmente conocida como Loma de Hierro, sin embargo actualmente el yacimiento se conoce como Loma de Níquel y es administrado por la Corporación Venezolana de Minería, División Níquel, filial de PDVSA Industrial. En este trabajo usamos el nombre Loma de Hierro para describir aspectos geológico-mineros del cuerpo de roca y Loma de Níquel para referirnos al yacimiento en general. El yacimiento está ubicado en la Serranía del Interior Central municipios Santos Michelena del estado Aragua y Guaicaipuro del estado Miranda, a 18 km al sur de Las Tejerías y a 45 km al suroeste de Caracas (Figura

1). El depósito cubre una extensión de aproximadamente 8,75 km², con una extensión de 7 km en dirección N75°E y un ancho que varía desde 500 m a 2 km (Minera Loma de Níquel, 2000a). Aflora en el terreno Loma de Hierro un complejo ofiolítico probablemente de origen proto-Caribe, afectado por un metamorfismo de grado muy bajo y cubierto por sedimentos de edad Cretácica (Urbani, 2014).



Figura 1. Ubicación del yacimiento niquelífero Loma de Níquel, estados Aragua y Miranda

Graterol (1972, citado en L.E.V. (2016)) señala que el complejo se compone de peridotita serpentizada, troctolita y gabro asociado a basalto, donde la serpentización es más intensa hacia los bordes del bloque. El manto regolítico que recubre a la roca ultramáfica de Loma de Hierro es producto de un proceso de alteración superficial activo que da origen a un depósito residual donde el espesor de la laterita *in situ* representa el residuo insoluble de la masa de roca ultramáfica infrayacente de la cual se ha liberado el níquel para concentrarse debajo de la laterita o en sus cercanías. Según Minera Loma de Níquel (2000a y 2011c) el perfil litológico descrito de tope a base comienza con una laterita donde predominan los óxidos e hidróxidos de hierro y minerales de arcilla. Debajo de esta, en la transición laterita/saprolita prevalecen los óxidos e hidróxidos de hierro, aquí el níquel se concentra en forma de garnierita por precipitación iónica de las aguas de penetración. Esta zona no es explotada pues su composición dificulta el proceso pirometalúrgico implementado actualmente.

Subyacente a esta zona de transición se encuentra la zona de saprolita donde por migración descendente el magnesio, sílice y una alta proporción del níquel se incorporan a las peridotitas alteradas en fracturas y porosidad secundaria. Es en estos espacios donde se encuentra la mena niquelífera en forma de garnierita, con cromita y magnetita como

minerales adicionales. La mena posee un contenido de Fe_2O_3 mínimo de 4,63%, máximo de 92,89% y en promedio de 20,04% y el contenido de NiO mínimo es de 1,03%, máximo 9,05% y en promedio de 2,09%. En la base de la unidad se encuentra la peridotita serpentizada por metamorfismo metasomático regional o hidrotermal en este nivel también pueden existir espacios mineralizados (Minera Loma de Níquel, 2000a).

Las operaciones que se realizan en la mina son de gran complejidad, el proceso de producción se divide en cinco etapas. Se inicia con la extracción del mineral, la explotación se hace en una mina a cielo abierto mediante la excavación de terrazas de cinco metros de altura y pendientes de 34°. Posteriormente el mineral es llevado a la planta de procesamiento para una primera fase de reducción de tamaño, primero a 250 mm y luego a 60 mm, después se utiliza un apilador automático para la preparación de dos pilas de aproximadamente 90.500 toneladas secas cada una siguiendo un método de apilación que garantiza la homogeneización del material, esto con el fin de evitar los efectos de las variaciones de los niveles de hierro y de la relación SiO_2/MgO en el proceso de calcinación-reducción. En esta etapa si los niveles de humedad son superiores al 15-18% el material es pasado en un horno secador. Posteriormente el tamaño es reducido a 15 mm y almacenado en una pila cubierta. Luego el material pasa por un proceso de calcinación y pre-reducción parcial del hierro, esto se realiza en hornos de arco eléctrico donde el material es fundido para obtener dos fases, la escoria compuesta principalmente de Si y Mg y una fase metálica más pesada con una proporción importante de Ni y Fe. Finalmente la fase mineral es refinada para remover impurezas como fósforo, azufre, carbón y silicio. El producto final son partículas de ferroníquel con un tamaño de 3 a 30 mm y una composición de: Ni 20 – 35%, Si máx. 0.03%, C máx. 0,04%, S máx. 0,06%, P máx. 0,03% (Minera Loma de Níquel, 2000a).

FUNCIONES MATLAB PARA LOS PROCESOS DE CONTROL DE CALIDAD APLICADOS EN EL YACIMIENTO LOMA DE NÍQUEL

Para simplificar las actividades del control de calidad de procesos geológicos-exploratorios y de producción de operaciones de mina se presentan diez funciones las cuales se ejecutan mediante un archivo de órdenes o *script*. A continuación se describen los procesos estudiados en este trabajo y las soluciones propuestas.

Control de calidad de procesos geológicos-exploratorios y de producción

Los programas de control de calidad que se aplican en el yacimiento Loma de Níquel siguen las prácticas establecidas por Anglo American (2007a). En estos procedimientos todas las muestras involucradas en la exploración y producción de mina contienen una inserción de cuatro tipos de muestras de control de calidad, estas son: muestra duplicada fina y gruesa (DUP), muestra de referencia (CRM) y muestra de blanco. Una muestra duplicada se define como una segunda muestra similar a la primaria tomada en cualquier punto de un sistema de muestreo, el duplicado grueso se toma por medio de un cuarteador rotatorio primario posterior al secado y triturado con un tamaño menor a 2 mm, y el duplicado fino es menor a 106 micrones y se toma luego del triturado de la muestra origen. Las muestras de referencia son muestras de control que tienen como función establecer la trazabilidad de las mediciones en comparación con un estándar conocido, mientras que las muestras de blanco son muestras que contienen concentraciones cero o insignificantes de los analitos buscados y dan una indicación del nivel de contaminación heredado durante la preparación de la muestra y durante el procedimiento analítico (Urdaneta, 2014).

Se toman en cuenta las siguientes condiciones:

- La inclusión del set de control de calidad se hace cada 20 muestras (Minera Loma de Níquel, 2010).
- La diferencia porcentual relativa para la muestra duplicada gruesa con respecto a la muestra original no puede exceder el 20%, mientras que para el duplicado fino el límite máximo es de 10% (Anglo American, 2007b).
- Durante la evaluación del control de calidad la concentración de níquel en la muestra de blanco debe ser menor al límite de cuantificación determinado para el yacimiento el cual es de 0,323% (Minera Loma de Níquel, 2010).

Para el caso de las muestras de referencia se consideran dos valores límites (Anglo American, 2007b). Los límites de control son utilizados para determinar si el proceso de análisis está bajo un control estadístico aceptable, se basa en el uso de distintos múltiplos de la desviación estándar conocida del material de referencia. Por lo general utilizando los límites +/- 2 la desviación estándar como “aviso” y +/- 3 la desviación estándar como “fallido”. Los límites de especificación son utilizados para determinar si un proceso o análisis funciona con las especificaciones requeridas, el límite para aceptar la muestra es de +/- 5% del valor de la media.

Si alguno de los cuatro elementos que constituyen el set de control de calidad supera los límites máximos permitidos es necesario realizar un re-análisis del lote de muestra anterior y posterior al control involucrado. Si durante el re-análisis el 90% de la población de muestras reporta una diferencia porcentual relativa menor al 10%, el lote de muestras es validado, de lo contrario debe programarse un plan de inspección de los procedimientos de preparación y análisis del laboratorio para determinar la causa de la falla (Minera Loma de Níquel, 2010). Para este control de calidad se utilizan las siguientes fórmulas:

Cálculo de las diferencias porcentuales relativas:

$$DPR = \left(\frac{\%Ei * DUP - \%Ei * MO}{\%Ei * MO} \right) * 100 \quad (1)$$

Cálculo de la media entre la muestra original y la muestra duplicada:

$$\bar{X} = \frac{(MO + DUP)}{2} \quad (2)$$

Cálculo de la diferencia porcentual media entre la muestra original y la muestra duplicada:

$$DPM = \left(\frac{MO - DUP}{\bar{X}} \right) * 100 \quad (3)$$

Donde:

DPR: diferencia porcentual relativa.

\bar{X} : media entre la muestra original y la muestra duplicada.

DPM: diferencia porcentual media entre la muestra original y la muestra duplicada.

%Ei: elemento de interés, en Loma de Níquel son %Ni, %Fe, %SiO₂, %MgO.

DUP: muestra duplicada gruesa o fina.

MO: muestra original.

El resultado de estas funciones son un conjunto de gráficos donde la cantidad de imágenes generadas dependerá de los materiales de referencia presentes en los datos, por cada tipo de muestra de referencia (CRM) existente en la base de datos se genera una gráfica (Figura 2). Los gráficos son:

- Muestra original versus muestra duplicada gruesa para los elementos de interés.
- Gráficas de diferencia porcentual media en duplicado grueso.
- Muestra original versus muestra duplicada fina para los elementos de interés.
- Gráficas de diferencia porcentual media en duplicado gruesa para los elementos de interés.
- Gráficas de porcentaje acumulativo – muestra fina para los cuatro elementos de interés.
- Gráfica de concentración de níquel en muestras de sílice.
- Una gráfica por cada muestra de referencia comparada con los elementos de interés.

El código consiste en un archivo de órdenes y una función, el archivo de órdenes “QaQc_Geo_Pro.m” carga los archivos que contienen los datos establecidos para cada muestra de control y llama a la función qaqc.m, donde se ejecutan todos los procesos del control de calidad de muestras de geología-exploración y de producción de mina. Actualmente acepta un máximo de nueve muestras de control.

Control de calidad para la conformación de pilas de homogenización

Las pilas de homogenización son acumulaciones de mineral posterior al proceso de trituración. Tienen forma de prisma triangular y cada una de ellas está formada por 15 chevrones. El mineral es apilado en sentido este-oeste por medio de un apilador y es recuperado en sentido norte-sur por medio de un recuperador (Figura 3). Los parámetros químicos para cada una de las pilas de homogenización son variables en cuanto al porcentaje de níquel según los presupuestos de producción establecidos, sin embargo el porcentaje de hierro debe fluctuar entre 14,5 % y 16,5%, y la relación SiO₂/MgO debe permanecer en el rango de 1,4% y 1,7%. Estos parámetros químicos fueron establecidos con la finalidad de generar una producción más estable durante todo el procesamiento del mineral (Minera Loma de Níquel, 2011a). El control de calidad de conformación de pilas de homogenización comprende procedimientos de control de peso y de concentraciones.

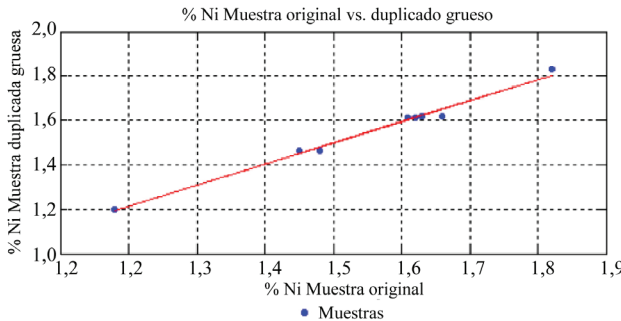
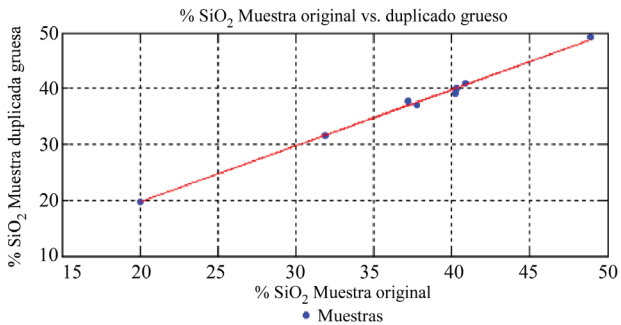
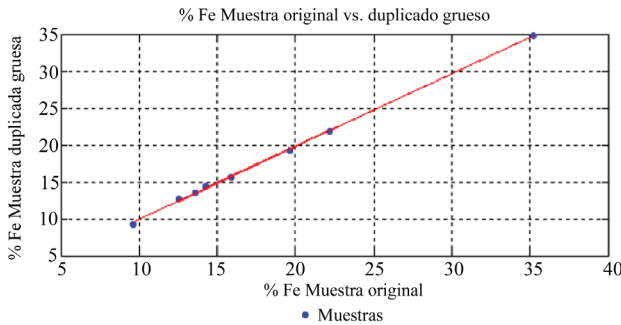
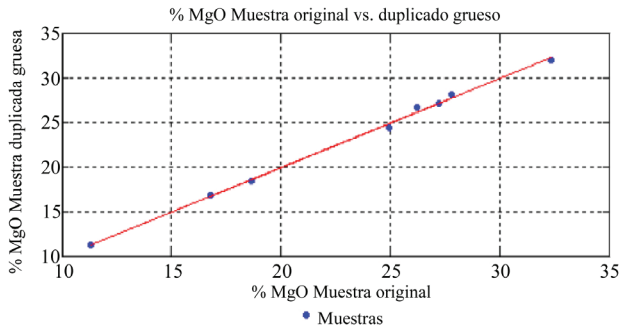


Figura 2. Ejemplo de las gráficas para las funciones de control de calidad de procesos geológicos-exploratorios y de producción



Figura 3. Pila de homogenización en conformación. (Minera Loma de Niquel, 2011a)

Para los controles de peso se verifica diariamente la masa (tonelaje) de cada uno de los chevrones en conformación y el peso total de la pila de homogenización. El peso de cada chevron a conformar se estima en base al peso total de la pila. Cada uno de los cinco chevrones de la base debe tener alrededor del 4% del peso total de la pila y cada uno de los diez chevrones restantes el 8% del peso total de la pila. Se utilizan las siguientes fórmulas:

$$PCb = (Ptp * 4\%) / 100 \quad (4)$$

$$PCn = (Ptp * 8\%) / 100 \quad (5)$$

Donde:

PCb: peso de los chevrones de la base en toneladas secas.

PCn: peso de los chevrones normales en toneladas secas.

Ptp: peso total estimado de la pila en toneladas secas.

Para los controles de concentración se comprueba diariamente que la cantidad requerida de níquel así como la del resto de los elementos químicos de control, los cuales son: SiO₂, MgO, Fe y humedad (H₂O) se cumpla y que cada uno de los chevrones se encuentre constituido por esa concentración en promedio. Diariamente se toman los análisis químicos reportados por el laboratorio de calidad correspondiente a la pila de homogenización en conformación y se calcula la calidad de cada chevron en base a promedios ponderados. El peso de cada muestra es suministrado por el departamento de Planificación de Mina. Se utiliza la siguiente fórmula:

$$\%Ei_{pc(x)} = \frac{(x_1 w_1 + x_2 w_2 + \dots + x_n w_n)}{(w_1 + w_2 + \dots + w_n)} \quad (6)$$

Donde:

$\%Ei_{pc(x)}$: promedio ponderado de níquel u otros elementos de interés para un determinado chevron.

$X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ serie de datos de porcentajes de níquel u otros elementos de interés por muestra.

$W = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_n\}$ es la serie de pesos correspondientes a los porcentajes anteriores.

n: numero de muestras.

Esta verificación se inicia con el archivo de órdenes “Control_Pila.m” que permite la carga del archivo con los valores asignados a las variables de control y realiza en llamado a la función “controlpila.m” donde se verifica cada uno de los 15 chevrones. Una vez se introducen todos los pesos secos de las muestras asociadas se muestran de forma automática cuatro gráficas, en las tres primeras se observa la concentración de níquel, hierro y relación sílice/magnesio por chevron y en la cuarta gráfica un corte transversal de la pila donde se representa en detalle la calidad total de cada chevron y datos del estado de la conformación (Figuras 4 y 5).

Control de analogías de resultados químicos entre las muestras tomadas por los muestreadores primario y secundario

Durante la conformación de las pilas de homogenización son recolectadas varias muestras de mineral para controlar la calidad de las mismas. El primer grupo de muestras es recolectado luego del proceso de trituración secundaria y antes de la conformación de la pila. El segundo grupo es recolectado luego del proceso de reclamado o recuperación de la pila. Todas las muestras son captadas por un muestreador automático (Minera Loma de Níquel, 2000b).

El control de calidad de ambos muestreadores se realiza una vez que cada pila de homogeneización es culminada y ha sido certificada con una calidad basada en el muestreador primario. Al iniciar el proceso de reclamado del mineral “homogenizado” los análisis químicos reportados para el muestreador secundario deben ser parecidos a los reportados para el primario, en el cual la diferencia porcentual relativa no debe superar el 5%. Valores superiores se toman como una señal de que alguno de los dos muestreadores presenta falla y debe iniciarse el proceso de revisión (Minera Loma de Níquel, 2011b).

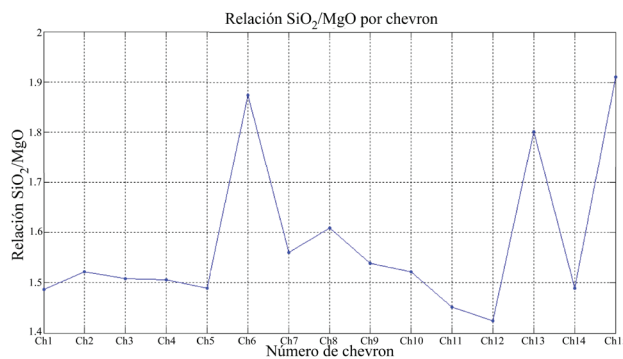


Figura 4. Ejemplo de las gráficas de relación SiO₂/MgO para las funciones de control de calidad para la conformación de pilas de homogenización

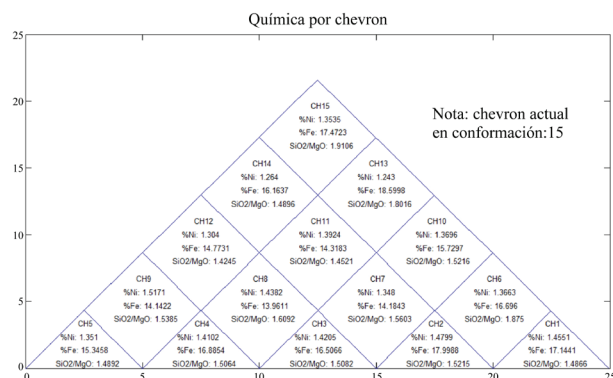


Figura 5. Ejemplo de un diagrama de química por chevron para el control de calidad para la conformación de pilas de homogenización

Para iniciar este control se requiere la química final de los elementos de interés en el momento del cierre de la pila de homogenización. Estos datos son emitidos por el departamento de Aseguramiento de la Calidad, así como también el análisis químico de las muestras captadas por el muestreador secundario. La verificación consiste en calcular el promedio para el níquel y el hierro de los datos obtenidos en el muestreador secundario. Una vez que se introducen los datos solicitados, se muestran de forma automática dos gráficas en las que se observa el comportamiento de las muestras captadas por el muestreador primario comparadas con las del muestreador secundario en relación con la concentración de níquel y de hierro de la pila en evaluación y se despliega en la ventana de comando del programa un resumen con información concluyente obtenida al comparar la química reportada por las muestras tomadas por cada uno de los muestreadores (Figura 6).

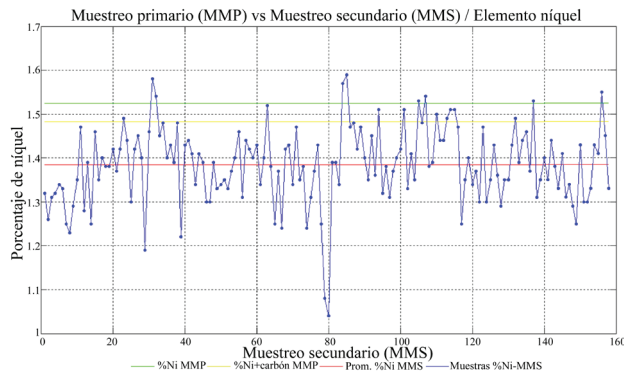


Figura 6. Ejemplo de un diagrama de muestreo para el elemento níquel, para el control de analogías de resultados químicos entre las muestras tomadas por los muestreadores primario y secundario

El archivo de órdenes “Control_Muestreadores.m”, carga el archivo con las variables requeridas por el código y otro con los datos de la química de la pila de homogenización reportada por el muestreador secundario y llama a la función controlmuestreadores.m donde se realiza la comparación entre el muestreador primario y el secundario y se grafican las comparaciones.

Control de validación de la base de datos de sondeos exploratorios

Las actualizaciones del modelo geológico del yacimiento son ejecutadas anualmente haciendo uso del *software* minero *Datamine* (Minera Loma de Níquel, s.f.), esta base de datos contiene la información histórica de los sondeos exploratorios ejecutados y validados. La información nueva que se va a incluir en la base de datos está contenida en una hoja de cálculo y consiste en la información relativa a los últimos sondeos perforados y validados. El archivo tiene dos partes una con la información de coordenadas UTM, profundidad e identificación del sondeo y otra con la información total del sondeo: identificación, número de muestras, porcentaje de humedad, porcentaje de todos los elementos químicos considerados y año de perforación del sondeo.

El primer paso es verificar el archivo de datos nuevos, las consideraciones son las siguientes: no pueden existir valores de concentración faltantes, repetidos o negativos, la información por metro de sondeo debe estar completa: identificación, coordenadas, análisis químico y año de perforación, los elementos químicos analizados no pueden superar el 100% de concentración, y finalmente se verifica que la hoja de cálculos que contiene los datos tenga el formato requerido para ser aceptado por la base de datos.

El segundo paso es verificar que no existan sondeos con la misma identificación en la base de datos histórica y en el archivo de datos recientes. En el pasado este control se hacía verificando cada parámetro individualmente lo cual requería gran cantidad de tiempo y los errores eran frecuentes. En este trabajo se desarrollaron funciones que permiten verificar el estado del archivo de datos nuevos y compararlo con la base de datos lo cual hace el trabajo más expedito y evita errores en los datos.

El archivo de órdenes “Validacion_datos.m”, da al usuario instrucciones precisas sobre los requisitos que deben tener los archivos para utilizar el código, luego verifica que el archivo tenga el formato correcto de lo contrario indica al usuario las correcciones que debe realizar. Finalmente inicia el código de validación que compara los nuevos sondeos a incorporar con la base de datos de sondeos total del yacimiento. Este archivo de órdenes utiliza dos funciones, “Validaciondatosgeneral.m” la cual realiza la validación de la información de los archivos de sondeos y coordenadas para la posterior incorporación en la base de datos del yacimiento. La segunda función “Validacionfinal.m” compara los nuevos sondeos a incorporar con la base de datos histórica del yacimiento para identificar sondeos iguales y asignar un nuevo nombre al sondeo más reciente.

Control de bloques de mineral a extraer en términos de dureza, tonelaje y contenido mineral

Actualmente el control de bloques de mineral a extraer se lleva a cabo tomando en consideración el tonelaje y los porcentajes de Ni, Fe, la relación SiO_2/MgO y humedad. En los códigos desarrollados en este trabajo se toman en cuenta también resultados de análisis de dureza (Anglo American, 2011). La finalidad de este control es obtener una lista de las posibles combinaciones de bloques, con su identificación, a partir de las cuales se pueda seleccionar la opción más adecuada que permita dar cumplimiento a los parámetros establecidos según los parámetros y/o rangos requeridos.

Al aplicar este control en la ventana de comando se despliegan una serie de requerimientos relacionados a las características estimadas de la pila de homogenización a conformar, estas son: tonelaje, los porcentajes de Ni, Fe, la relación SiO_2/MgO , humedad, dureza del material, desgaste de los segmentos/dientes de la trituradora y cantidad de bloques disponibles en el yacimiento para la conformación de la pila. Posteriormente se deben introducir los datos de cada uno de los bloques disponibles para la conformación de la pila. El resultado de este control son todas las combinaciones de bloques posibles que cumplen con las características estimadas de la pila. Las posibilidades de

combinación van a ser más exigentes de forma progresiva mediante la aplicación de cinco filtros sucesivos. El primer filtro es que las posibles combinaciones cumplan con el tonelaje estimado, el segundo filtro depende del primero y requiere que se cumpla la ley de níquel y así sucesivamente pasando en orden por el hierro, la relación sílice/magnesio, la humedad y la dureza.

El código consiste en un archivo de órdenes y tres funciones. El archivo de órdenes "Controlbloques.m" contiene la matriz con datos de desgaste de dientes/segmentos de trituradora contra la dureza soportada donde esta matriz puede ser modificada por el usuario, luego carga el código de control de bloques y finalmente llama a tres funciones. La función "Controlbloquesfin.m" solicita el ingreso de los datos correspondientes a la nueva pila, si la pila no es nueva serán empleados los datos almacenados de la pila anterior. Las combinaciones de pila se realizan en la función "Combinacion.m" y la función "Displaybloques.m" grafica las combinaciones de pilas que superaron los filtros.

CONCLUSIONES

- Se creó una librería de funciones para optimizar los procesos de control de calidad geológico-exploratorio y de producción implementados en el yacimiento níquelífero Loma de Níquel. Esta librería puede ser fácilmente modificada, ampliada y mantenida.
- Las ventajas de estos códigos se evidencian en cuatro aspectos: mayor confiabilidad en los resultados pues se evitan errores por parte del operador, el tiempo de ejecución de cada control se reduce, se obtiene información detallada mediante gráficos y mensajes en la ventana de comandos y se evitan errores como datos de control incompletos o fuera de rango.
- Para el control de calidad de procesos geológicos-exploratorios y de producción de operaciones de mina el código consiste en un archivo de órdenes y una función, el archivo de órdenes "QaQc_Geo_Pro.m" carga los datos de cada muestra de control y la función qaqc.m analiza los datos de control para duplicados gruesos, duplicados finos, muestras de sílice y muestras de referencia, los resultados se presentan mediante gráficas e información detallada en la ventana de comandos.
- En relación con el control de calidad para la conformación de pilas de homogenización mediante el archivo de órdenes "Control_Pila.m" y la función "controlpila.m", se calcula el peso de cada chevron

y de la pila de homogenización y se verifica que las concentraciones de Ni, Fe y la relación SiO₂, MgO y humedad (H₂O) sean las requeridas. Los resultados se muestran en forma de gráficos y un corte transversal de la pila con los valores de peso y concentración de los parámetros de interés para cada chevron.

- Para el control de analogía entre el muestreador primario y el secundario el archivo de órdenes "Control_Muestreadores.m", verifica que la diferencia en la concentración de Ni y Fe entre los muestreadores primarios y secundarios no superen el 5% y grafica los resultados.
- Para el control de datos de actualización de la base de sondeos exploratorios la actualización del modelo geológico, el archivo de órdenes "Validacion_datos.m" y las funciones "Validacionfinal.m" y "Validaciondatosgeneral.m" realizan el control de formato de los datos de entrada y los compara con la base de datos de sondeos total del yacimiento.
- Para el control de bloques de mineral a extraer en términos de dureza, tonelaje y contenido de minerales el código consiste en un archivo de órdenes "Controlbloques.m" y tres funciones "Controlbloquesfin.m", "Combinacion.m" y "Displaybloques.m". Las funciones diseñadas calculan todas las combinaciones de bloques posibles con base en filtros de peso, química y dureza con la finalidad de seleccionar la mejor combinación posible de bloques de mineral que permita garantizar la calidad y vida útil de los componentes mecánicos.

REFERENCIAS

- ANGLO AMERICAN (2007a). Standard Operating Procedure 1.2.1. Control Charts for the Evaluation of QA/QC Data. Department of Geology and Mine Planning. p. 16.
- ANGLO AMERICAN (2007b). Standard Operating Procedure: 1.1.1. Quality Assurance and Quality Control of Analytical Results. Department of Geology and Mine Planning. p. 24.
- ANGLO AMERICAN (2011). Resource to Market Optimization - GTS 33. p. 1.
- CHAPMAN, J. (2008). MATLAB Programming for Engineers. Toronto: Thomson. 4ta. Ed. p. 567.

- L.E.V. (Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela). (2011). Recuperado el 13 de mayo de 2016, de <http://www.pdv.com/lexico/>
- MINERA LOMA DE NÍQUEL (2000a). Geological Information. Department of Geology and Mine Planning. p. 5.
- MINERA LOMA DE NÍQUEL (2000b). Proceso de trituración de mineral en Loma de Níquel operatividad de muestreadores automáticos. p. 2.
- MINERA LOMA DE NÍQUEL (2010). Procedimiento de control de calidad para muestras de geología y producción de mina. p. 3.
- MINERA LOMA DE NÍQUEL (2011a). Procedimiento de control de calidad de pilas de homogenización. p. 5.
- MINERA LOMA DE NÍQUEL (2011b). Procedimiento de control de calidad del muestreo primario y secundario. p. 3.
- MINERA LOMA DE NÍQUEL (2011c). Características geológicas del yacimiento. Departamento de Geología de Mina. p. 10.
- MINERA LOMA DE NÍQUEL (s.f.). Manual para el manejo del software Datamine. p. 44.
- URBANI, F. (2014). Distribución de terrenos en Venezuela norcentral. En: Schmitz, M. et al. (2014). El límite noreste de la placa suramericana - estructuras litosféricas de la superficie al manto. UCV-FUNVISIS, Caracas. p. 376.
- URDANETA, A. M. (2014). Uso de Matlab en la optimización de procesos de control de calidad en el yacimiento niquelífero Loma de Hierro. Tesis de maestría no publicada, Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Venezuela.

