

MODELAMIENTO GEOLÓGICO DIGITAL APLICADO A UNA MINERÍA DE HIERRO A CIELO ABIERTO

(Digital geologic modeling applied to an iron ore open pit mine)

Vandersoni Monteiro Vieira de Moraes*, Rafael Rodrigues Ribeiro*, Luz Dary Sandoval Salazar*, Julio Alberto Hernández**, Nelson Olmedo Hernández Rubiano**, Jorge Oswaldo Moreno Díaz**

*Votorantim Siderurgia, vandersoni.moraes@vsiderurgia.com.br, luz.sandoval@pazdelrio.com.co

**Minas Paz del Río

(Recibido el 16 de julio de 2009 y aceptado el 10 de septiembre de 2009)

Resumen:

El modelamiento geológico digital de yacimientos minerales diversos es muy común en todos los países que tienen una cultura de minería altamente desarrollada, constituyéndose en una herramienta fundamental para el planeamiento de inversiones y para la elaboración de los planes de desarrollo de un proyecto minero. Estos modelos son la base para los reportes de recursos y reservas exigidos por bolsas de inversionistas a empresas de minería. Además, los recursos minerales son los principales activos de una empresa minera.

Actualmente, Minas Paz del Río (MPDR) viene adelantando grandes avances tecnológicos, que propician la elaboración de modelos geológicos digitales de sus minerías.

Entre los principales aportes de estos modelos se pueden destacar: un mejor conocimiento de la vida útil de los yacimientos, incluso con aumento de vida de este proyecto en particular; un mejor planeamiento de los suministros para explotación, con consecuente disminución de costos, y unas ganancias en la calidad del mineral explotado, con disminución de su variabilidad.

En esta exposición se mostrará la metodología que fue aplicada para la elaboración del modelo digital de una minería de hierro a cielo abierto, de propiedad de MPDR, evidenciando los puntos clave para un buen modelo de recursos, que van desde la recolección de datos iniciales hasta los tratamientos geoestadísticos avanzados, a fin de tener el modelo más cercano a la realidad del yacimiento.

Palabras clave: modelo geológico digital, mineral de hierro y metodología.

Abstract:

The digital geologic modeling of diverse mineral deposits is a tool very common in all the countries where it has a highly developed mining culture. Additionally, it is a fundamental tool for deciding about the planning of investments, also to elaborate the plans of developments of a mining project. Those models are the basis of information used in reports about resources and reserves demanded by investors in mining companies listed in stock exchange market. This importance is due to the fact that the mineral resources are the main assets of a mining company.

At the moment Minas Paz del Río (MPDR) is in a process of development of its procedures and has achieved a great technological advance in that area, that assured an elaboration of confident digital geologic models of their deposits. Among the contributions of those models it is possible to emphasize: a better knowledge of the time life of the deposits for a specific project; a better planning for supplying of the operation with consequent diminution of costs, and a gains in the quality of the mined ore and reduction of the variability.

In this paper will be presented the methodology that was applied for the elaboration of the digital model for an open pit iron ore deposit that belongs to MPDR, where the key points for a good modeling of resources will be demonstrated, from a correct collection of initial data to the advanced geostatistics treatments in order to have a model as close as possible to the reality of the deposit.

Key words: geologic digital model, iron ore and methodology

1. INTRODUCCIÓN

Los riesgos en un proyecto minero son demasiados; sin embargo, una evaluación de yacimientos, lo más cercana posible a la realidad, es fundamental para disminuir significativamente estos riesgos.

La evaluación de yacimientos involucra diferentes etapas de geología e ingeniería, pasando por la toma de datos, los modelos digitales geológicos y los procesos metalúrgicos hasta los estudios de mercado. Siendo el modelo geológico una de las primeras etapas de la evaluación, base para los estudios de minería y de procesos metalúrgicos, puede ser considerado un proceso clave en la evaluación.

Desde hace dos años, Minas Paz del Río (MPDR) está dando seguimiento a una nueva estructuración y modernización de sus labores y productos. Una de estas modernizaciones involucra la evaluación de yacimientos bajo estándares reconocidos internacionalmente, por lo que el yacimiento de hierro de Santuario fue elegido como su proyecto piloto.

El modelo geológico puede ser dividido en las etapas de:

- Montaje y validación del banco de datos;
- Elaboración del mapa geológico del yacimiento;
- Definición e interpretación de los perfiles geológicos;
- Construcción de los cuerpos geológicos 3D, y
- Definición y construcción del modelo de bloques.

A continuación se va a presentar cada una de las etapas, hasta la obtención del modelo geológico, para la definición de los recursos y reservas de la mina Santuario, de propiedad de Minas Paz del Río.

2. ANTECEDENTES

El yacimiento de Santuario es conocido por la empresa desde 1960, pero los primeros trabajos de evaluación con perforaciones sólo se llevaron a cabo en 1995.

Fue hecha una nueva campaña de sondeo y posterior evaluación en el año 2005, y en el 2008 se realizó una actualización del mapa geológico, en una campaña de

perforación más extensa, que tuvo como objetivo el de definir el modelo geológico digital y soportar todo un proyecto minero para la mina de Santuario.

Los primeros modelos de Santuario fueron hechos en papel, y son mapas geológicos y perfiles interpretados.

Minas Paz del Río cambió su estrategia de producción de acero en 2008, necesitando que el yacimiento de Santuario suministrara volúmenes cada vez más grandes de mineral de hierro. Fue necesario, entonces, desarrollar todo un proyecto de minería para soportar este aumento de la demanda.

3. MARCO GEOLÓGICO

El área del estudio está situada a 20 kilómetros al noreste de la ciudad de Ubalá, en el departamento de Cundinamarca, desde donde se llega al poblado de Tres Esquinas, por carretera destapada; y de allí, a través de un carreteable, se llega a la Mina El Santuario. El depósito de mineral de hierro está situado en el borde izquierdo del Río Chivor, en la vereda llamada Santuario, ampliándose al largo del cauce del Santuario y parte del cauce de La Pichonera, ver Figura 1.

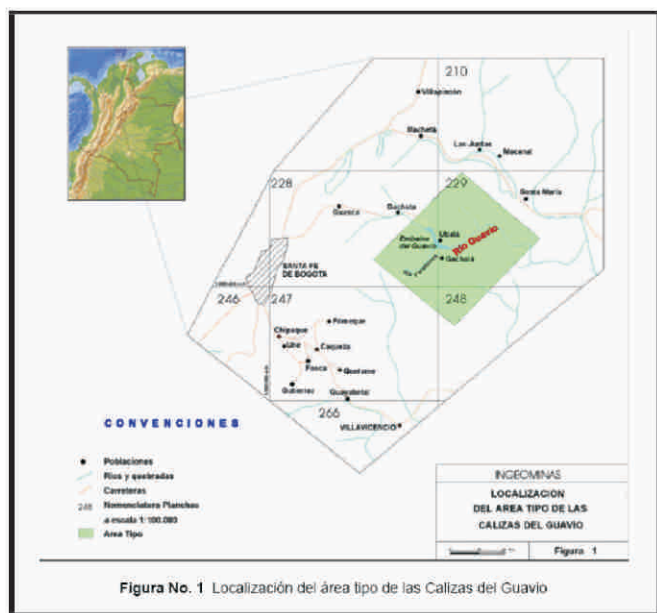


Figura 1. Localización del área de estudio.

En la región afloran rocas del grupo de Farallones (Paleozoico medio a superior) y rocas calcáreas de la Formación Calizas de El Guavio, así como lutitas de la Formación Macanal, los dos pertenecientes al Grupo Cáqueza (Cretáceo inferior). El yacimiento de hierro se encuentra emplazado dentro de las calizas de Las Mercedes, miembro superior de las calizas de El Guavio. (Ulloa y Rodríguez, 1979), tal y como lo muestra la figura 2 (ver).

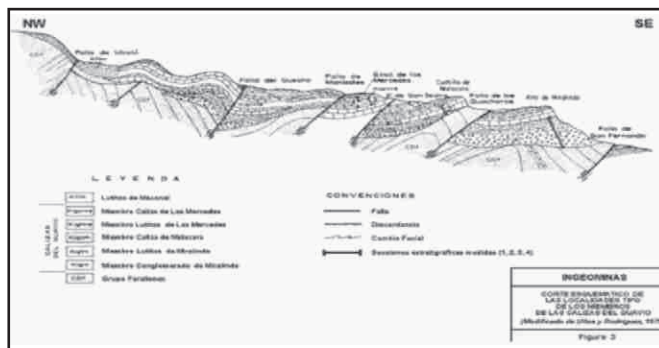


Figura 2. Corte esquemático que muestra la geología de la región (modificado de Ulloa y Rodríguez, 1979).

El mineral de hierro se presenta encajado en la parte superior de las rocas calcáreas de la Formación Calizas de El Guavio, intercaladas a dos niveles de la roca calcárea, y junto a un banco de areniscas. Éstos se traslapan a una sucesión de lutitas negras piritosas, alternada con capas pequeñas de arenisca y calizas en la porción inferior. El mineral de hierro existente en el área se presenta como óxidos de hierro, hidróxidos de hierro y siderita, en este orden de cantidad y contenido de hierro.

La tectónica de la región involucra, en gran parte, fallas inversas, conjugadas con fallas de acomodación normales y transversales. Estas dos tienen un control muy grande del banco de mineral de hierro, pues propician la división de la minería en pequeños bloques estructurales que presentan características particulares para cada parte de la minería. El factor estructural es un punto fundamental para realizar un buen muestreo, pues las variaciones de calidad o están relacionadas a cambios de litologías o a zonas de alteración en fallas.

4. METODOLOGÍA

El modelo geológico de Santuario fue hecho bajo los estándares internacionales de minería, con la ayuda de software experto en este seguimiento. Las etapas del modelo pueden ser divididas en:

- Montaje y validación del banco de datos;
- Elaboración del mapa geológico del yacimiento;
- Definición e interpretación de los perfiles geológicos;
- Construcción de los cuerpos geológicos 3D, y
- Definición y construcción del modelo de bloques;

Este modelo fue base para la evaluación geoestadística de los recursos y el posterior análisis económico para la definición de reservas y la planificación minera. Las etapas ya definidas se describen a continuación, así:

4.1 Banco de datos

A fin de garantizar la seguridad de la información relacionada con la investigación geológica, fue elaborado

un banco de datos en el que se guardaron los datos de las tres campañas de sondeo hechas en el yacimiento (1995, 2005 y 2008).

El banco de datos fue dispuesto en cuatro tablas centrales, así:

- La tabla *collar*, con las informaciones de ubicación de los pozos, fecha de ejecución y principales datos para el archivo físico de los datos;
- La tabla *survey*, con los datos de trayectoria de los pozos y los de medidas de equipos de perfilaje de pozos;
- La tabla *assay*, con los resultados de análisis químicos de las muestras tomadas en los testigos, y
- La tabla *lithology*, con los datos de descripción geológica (tipológica) hecha en los testigos.

Con el objetivo de garantizar la integridad del banco de datos, fueron ejecutadas validaciones, entre las cuales las principales a comentar son: metodología utilizada para la ubicación de los pozos, cierre estequiométrico y verificación de overlaps, entre otras.

Todos los pozos de las tres campañas fueron localizados en terreno, y sus coordenadas fueron tomadas por topografía convencional. Los datos de coordenadas fueron alimentados directamente de la estación total para la computadora, evitando posibles errores por digitación de las coordenadas.

Todas las muestras insertadas en el banco de datos fueron analizadas para Fe, SiO₂, Al₂O₃, Mn, P, MgO, CaO y PPC. Fueron calculados los respectivos óxidos para los elementos Fe, Mn y P, y hecha la fórmula del cierre estequiométrico. Todas las muestras que presentaron cierre inferior a 98% o superior a 102% fueron rechazadas en el banco de datos.

Overlaps es tan solamente una superposición de intervalos, sea litológica o de muestreo. Como no es posible que en la descripción presente dos litologías en el mismo intervalo, los overlaps ocurren por errores en la digitación de los datos. Todos los overlaps encontrados fueron corregidos mirando la tabla original de descripción y las cajas con los testigos.

4.2 Mapeo geológico

A fin de conocer el marco estructural y los límites de la mineralización, se efectuó un mapeo a escala 1:5000, que a la vez sirvió para la definición de la columna estratigráfica del yacimiento. La figura 3 (ver) muestra las principales litologías consideradas en el mapeo, así como las estructuras que delimitan la mineralización.

El mapeo también fue usado como información geológica de superficie en los perfiles modelados, y así los

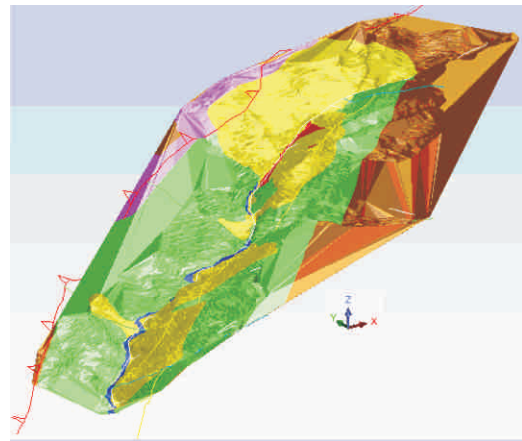


Figura 3. Mapa geológico 3D.

contactos encontrados en el mapeo fueron mantenidos en el modelo de cuerpos 3D.

4.3 Definición e interpretación de los perfiles geológicos

Los perfiles geológicos para la construcción del modelo fueron definidos perpendiculares al rumbo de la mineralización. Esta orientación fue elegida por ser espacialmente la menos continua, posibilitando así una mejor visualización de las discontinuidades y cambios de buzamientos en los diferentes dominios (bloques estructurales) del yacimiento.

Fueron definidos veintidós perfiles, con espacio regular entre ellos. La distancia entre los perfiles fue definida a fin de representar mejor la malla de sondeo.

La mineralización de hierro fue interpretada en tres tipologías diferentes, basadas en el mineral de hierro que predomina en la roca. Esta separación se hace necesaria, ya que, además del mineral, las leyes de Fe (%) son influenciadas por la mineralogía. Así, los óxidos de hierro fueron definidos siempre que la hematita fuera el principal mineral de hierro. Los hidróxidos de hierro se caracterizan por la predominancia del mineral de goethita. Fueron llamados carbonatos de hierro siempre que la siderita era el mineral de hierro más abundante.

Las litologías estériles como Suelo, Marga, Caliza, Lutita y Areniscas también fueron interpretadas para ayudar en las definiciones de los parámetros geotécnicos y estudios de minería. Adicionalmente a estos perfiles, fueron interpretados tres perfiles a lo largo del rumbo y diez niveles, con el objetivo de validar las continuidades y estructuras interpretadas en los perfiles del modelo.

4.4 Construcción de los cuerpos 3D

Con el fin de conocer el volumen de mineral y su disposición espacial en el yacimiento, fueron creados los

cuerpos en 3D. Se usaron los datos de interpretación de los veintidós perfiles, perpendiculares al rumbo de la mineralización.

Fueron modelados los cuerpos de los minerales OFe (óxidos de hierro), HFe (hidróxidos de hierro) y CFe (carbonatos de hierro) y de los estériles Suelo, Marga, Caliza, Lutita y Areniscas. Los cuerpos fueron generados por la triangulación entre los perfiles interpretados y el límite de los cuerpos fue dado por las estructuras (fallas) o influencia interpretada en el modelo.

El modelo de cuerpos 3D puede ser visualizado en la figura 4 (ver). A partir de estos cuerpos, es posible calcular el volumen de mineral del yacimiento y dar inicio al modelamiento de bloques.

4.5 Modelo de bloques

Con el fin de conocer los recursos minerales (volumen y tonelaje) fue construido un modelo de bloques, que no es otra cosa que una discretización del modelo geológico; es decir, una representación del modelo geológico en varios bloques.

Los bloques son la menor unidad minera (SMU= small mining unit); es decir, las dimensiones de los bloques corresponden a la más pequeña unidad representativa de la minería usada en la planificación y operación. La definición de las dimensiones de los bloques considera la malla de sondeo (modelo geológico) y dimensionamiento de los equipos de operación minera (selectividad del minado).

Fue definido un modelo de bloques con dimensiones de 25 m en las orientaciones X y Y, para la altura se consideraron 10 m. Para cada bloque fueron atribuidas informaciones de la litología y densidad.

La litología del bloque fue definida con el uso de los cuerpos 3D modelados. Así, si el centro de masa de un

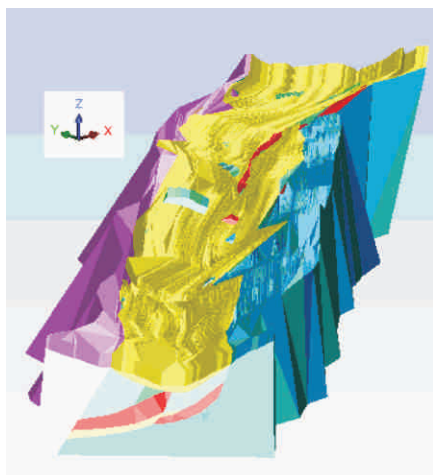


Figura 4. Cuerpos geológicos 3D

bloque estaba contenido en un cuerpo 3D, este bloque tenía la información de esta litología atribuida a él. La figura 4 presenta el modelo de bloques con la información de litología. La densidad fue atribuida a cada bloque, correspondiendo a la litología informada por el bloque.

5. RESULTADOS OBTENIDOS

Adicionalmente al modelo geológico, fueron ejecutados los trabajos de estimación de las leyes de Fe (%) y contaminantes por estudios geoestadísticos (variografía y krigage) para cada uno de los bloques del modelo.

El modelo de bloques es una síntesis del modelo geológico y de la evaluación de recursos del yacimiento de hierro descrito. Este modelo sirvió de base para todos los estudios de reservas mineras, así como para los modelos económicos propuestos, así para el mejor aprovechamiento de la mina.

6. CONCLUSIONES

La metodología presentada resume todo el trabajo de modelamiento del yacimiento de hierro. Esta metodología consiste en un conjunto de buenas prácticas, reconocidas por la sociedad minera. Además, esta práctica tiene los alcances de ser una evaluación de recursos lo más confiable posible y de fácil actualización con la adición de nuevas informaciones de exploración.

Esta es una herramienta de gran importancia para la minería, pues sirve para orientar las labores de planificación minera y soportar los estudios económicos. Sus resultados posibilitan una gran economía de costos por mejorar la evaluación de los recursos y reservas.

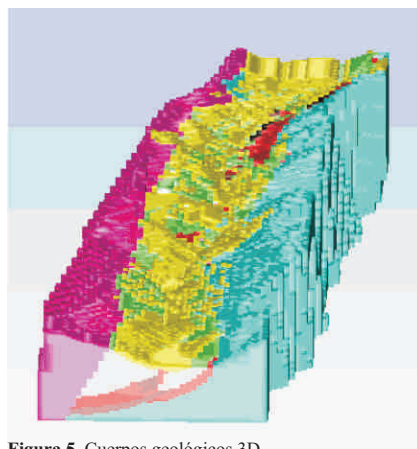


Figura 5. Cuerpos geológicos 3D

7. REFERENCIA

Ulloa, C. y Rodríguez, E., 1979. Geología del cuadrángulo K-12, Guateque. Informe 1701, Boletín Geológico, Volumen 22, No. 1: p.1-84, Ingeominas, Bogotá.