

# Estimación de recursos minerales de cobre

Mejores practicas profesionales

**Tomasz Wawruch**



Los estándares de trabajo de Anglo American de estimación y clasificación de recursos minerales y reservas mineras son definidos con el apoyo de Código JORC.

Los principales valores que rigen en la aplicación del Código JORC son transparencia, materialidad y competencia.

**Transparencia** requiere que el lector de un informe público proporcionado con suficiente información, cuya presentación es clara y sin ambigüedades, para entender el informe y que no sea engañado por esta información o por omisión de información relevante conocida por la persona competente.

**Materialidad** requiere que un Informe Público contenga toda la información relevante que los inversores y sus asesores profesionales tiene derecho a requerir para el propósito de hacer un juicio razonable y equilibrado con respecto a los resultados de Exploración, Recursos Minerales y Reservas Mineras declarados.

**Competencia** requiere que el Informe Público se basa en el trabajo hecho y supervisado por la persona cualificada y competente por su formación y experiencia, quien es sujeto al código profesional de ética.

Los valores y estándares establecidos en el código JORC junto con los requerimientos establecidos y publicados en los documentos internos de Anglo American: AA\_RD 22-25 definen la forma de administrar a los recursos minerales y reservas mineras.

Cada operación minera y proyecto tiene asignada una persona competente la cual está a cargo de recursos minerales y/o de reservas mineras. La persona competente supervisa la confección de la declaración anual de recursos y/o reservas. El nombramiento es vigente por un periodo anual. El nombramiento se hace mediante la carta donde se estipula los deberes y las responsabilidades de la persona competente.

Comisión Calificadora de Competencias en Recursos y Reservas Mineras está incluida en el listado de Anglo American de las organizaciones profesionales internacionales cuyo miembro puede ser nombrado la persona competente para supervisar, confeccionar y firmar la declaración anual de recursos y reservas de Anglo American.

## Score Card

Las mejores prácticas profesionales resultantes del código de JORC y los requerimientos propios de Anglo American Chile se definen y se evalúan mediante la aplicación en línea.

La aplicación de “ScoreCard” consiste en la evaluación de prácticas definidas mediante un formulario de evaluación. Los formularios son confeccionados de acuerdo al área particular de actividad profesional (recursos minerales, geología de mina, hidrogeología, geometalurgia) y las prácticas ejecutadas.

Cada práctica ejecutada tiene criterios descritos que permiten de forma objetiva considerar un grado de cumplimiento de requerimientos técnicos considerados.

La escala de cumplimiento que se asigna a las prácticas profesionales puede tener desde 2 hasta 5 grados de aprobación. Los grados de aprobación se definen en función de la complejidad y el nivel de desarrollo de la práctica.

**Score Card**

La escala empieza con el grado de **Inocencia** seguido por **Conciencia**, **Comprensión**, **Competencia** hasta **Excelencia**.

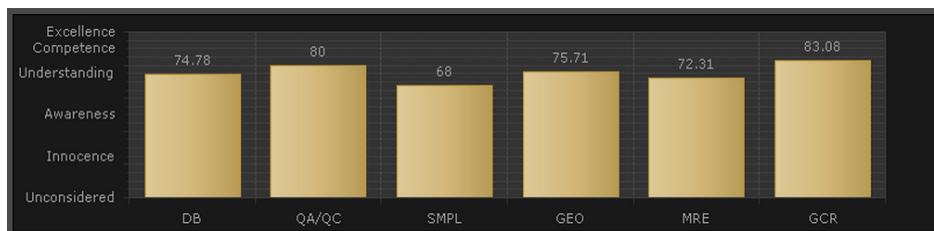
Módulos genéricos en el caso de Recursos Minerales son los siguientes: **SMPL** – muestreo, **QA/QC** – control de calidad, **DB** – base de datos, **GEO** – geología **MRE** – evaluación de recursos minerales, **GCR** – Control de producción y reconciliación. El formulario de evaluación es sujeto a actualización cada cierto tiempo de acuerdo con los cambios metodológicos y los requerimientos nuevos.



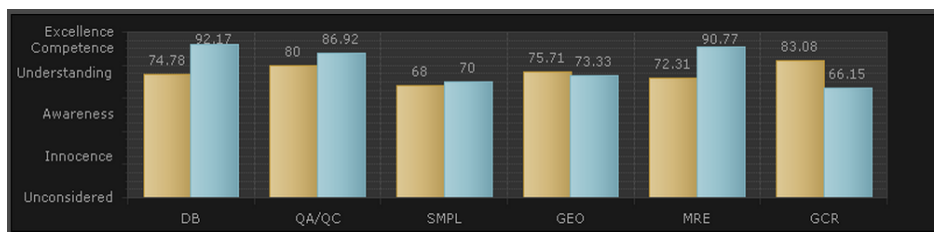
Scale	Standard
Excellence	1 La persona profesional entrenada y competente a cargo de recursos minerales.
Understanding	2 La persona profesional capacitada para reemplazar al profesional de recursos minerales cuando sea necesario.
Excellence	3 El procedimiento estandarizado para la regularización de largo de muestras.
Excellence	4 El largo de compósitos corresponde/refleja la naturaleza de mineralización.
Excellence	5 La práctica de trabajar con los histogramas declusterizados de la distribución de variables analizadas.
Excellence	6 El análisis espacial de la distribución de leyes declusterizadas del yacimiento: a lo largo, a través y en profundidad. Existe un análisis equivalente para conocer/representar el comportamiento de ley promedio/varianza de variable(s) de interés
Excellence	7 El análisis de correlación entre leyes y variables geológicas: litologías, alteraciones, mineralización y/o estructuras tectónicas. ¿Existe un análisis equivalente para cuantificar la correlación global/local entre variables geológicas y leyes?
Excellence	8 La validación de modelamiento geológico
Excellence	9 La validación de los dominios de estimación.
Excellence	10 La selección de compósitos de acuerdo a los dominios de estimación establecidos.

Page 1 of 3 Item 1 to 10 of 26

Scale Range	
Innocence	[0..25]%
Awareness	[25..50]%
Understanding	[50..75]%
Competence	[75..90]%
Excellence	[90..100]%



Scale	Description
Unconsidered	Unconsidered
Innocence	No se hacen análisis espaciales de las distribuciones de variables de yacimiento
Awareness	Se hacen algunos ejercicios generalizados pero sin profundidad analítica
Understanding	Existe el juego de distribuciones de leyes de variables principales. Pueden existir otros análisis enfocados en el mismo propósito. Existen algunos respaldos de análisis
Competence	Existe el juego de distribuciones de leyes de variables principales. Las distribuciones sirven como referencia al momento de la validación de estimadores. Pueden existir otros análisis enfocados en el mismo propósito. Existen algunos respaldos de análisis
Excellence	Existe el juego completo de las distribuciones de leyes y otras variables. Las distribuciones sirven como referencia al momento de la validación de estimadores. Todo aquello es la parte integral de los informes correspondientes. Pueden existir otros análisis enfocados en el mismo propósito. Existe el respaldo electrónico de los análisis



# Prácticas profesionales en la estimación de recursos minerales

Técnicas Documentación Procedimientos Reconciliación

Muestreo

Base de datos

Desarrollo analítico

Modelamiento geológico

Recursos minerales

Clasificación

Validación y Reconciliación

- Programa QA/QC: Equivalente de 25% de muestras se analizan como duplicados, blancos y estándares certificados
- Test de heterogeneidad
- Error fundamental
- Muestreo de pozo completo

- Almacenamiento centralizado
- Validación de datos
- Perfiles de usuarios

- Análisis global y local/condicional de la distribución de ley promedio y de varianza
- Análisis de la distribución de ley promedio a través de contactos (litología/alteración/mineralización/estructuras)
- Análisis de correlaciones
- Regularización de largo de muestras en función de los resultados analíticos anteriores
- Definición de dominios de estimación en función de los resultados anteriores

Modelamiento de variables categóricas:

- Kriging de indicador,
- Kriging de indicadores secuenciales,
- Kriging con rumbo / manto variable,
- Simulación condicional de indicadores,
- Simulación gaussiana / pluri-gaussiana truncada.

Estimación de recursos minerales

- Estimación determinística: Kriging ordinario / simple
- Estimación estocástica: Simulación Gaussiana Secuencial

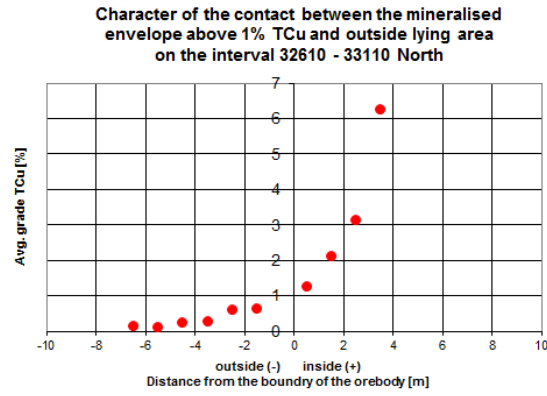
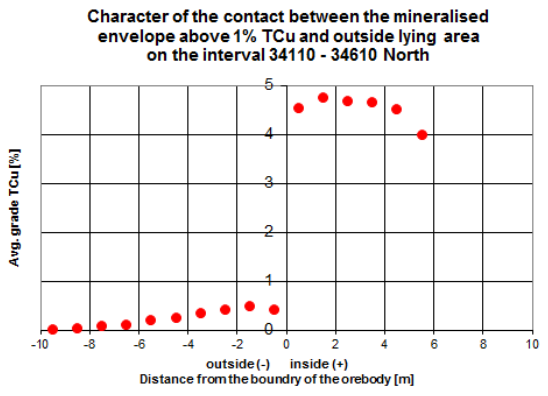
Clasificación de recursos minerales

- Dominios de estimación
- Escala de producción
- Error de 15% con 90% de confianza
- Varianza de Kriging
- Simulación condicional de indicadores y de leyes
- Optimización de perforación en función de clasificación de recursos minerales

- Validación de estimación de recursos minerales mediante las comparaciones locales:
- deriva y bloque móvil
- Reconciliación de recursos minerales estimados con recursos minerales in-situ
- Error relativo mensual
  - Error relativo por categoría

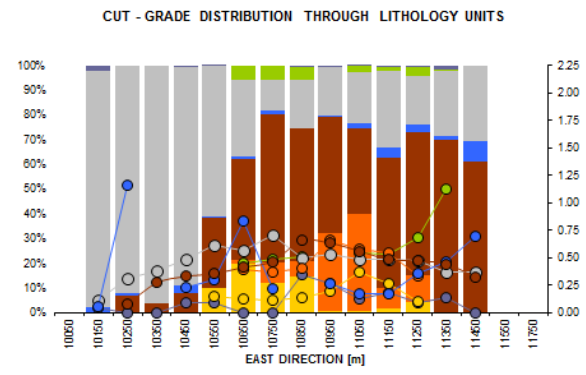
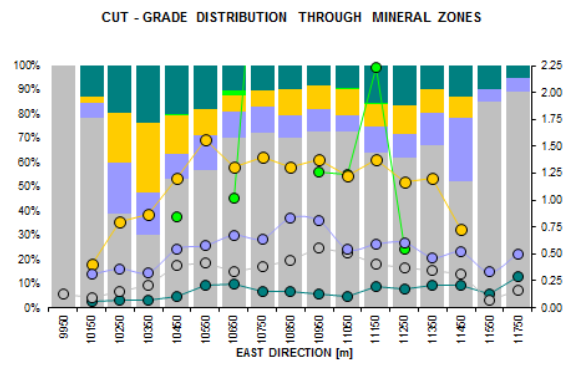


- Análisis global y local/condicional de la distribución de ley promedio y de varianza
- Análisis de la distribución de ley promedio a través de contactos (litología/alteración/mineralización/estructuras)
- Análisis de correlaciones
- Regularización de largo de muestras en función de los resultados analíticos anteriores
- Definición de dominios de estimación en función de los resultados anteriores



### Análisis condicional a la escala local

- Proporción de unidad geológica con ley promedio
- Distribución de ley promedio a través de contacto geológico





Modelamiento de variables categóricas:

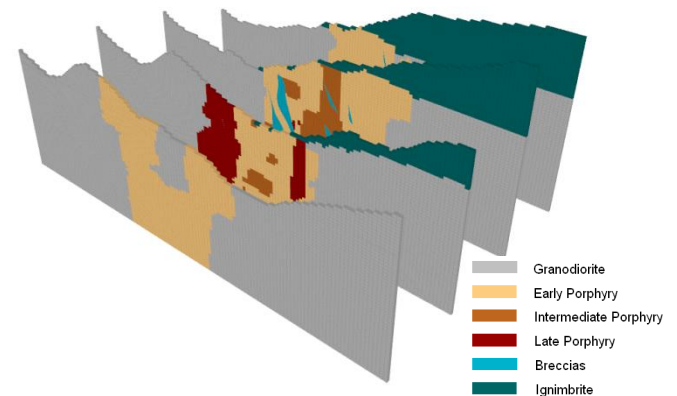
- Kriging de indicador,
- Kriging de indicadores secuenciales,
- Kriging con rumbo / manto variable,
- Simulación condicional de indicadores,
- Simulación gaussiana / pluri-gaussiana truncada.

Las variables geológicas: litología, alteración, zona mineral, estructura/dique son concebidas mediante un modelamiento probabilístico de indicadores.

Los casos más complejos son tratados con la estimación de indicadores secuencial.

Se exploran diferentes métodos de modelamiento mediante la simulación condicional gaussiana.

I fase	II fase	III fase	IV fase	Unidad	Código
				granodiorita	1
				ignimbrita postmineral	7
				pórfido temprano	2
				pórfido intermedio	3
				pórfido tardío	4
<b>modelamiento manual</b>				diques, breccias	5 6

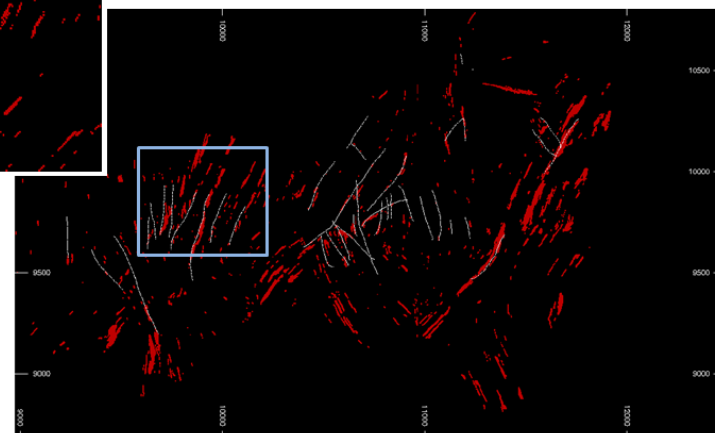
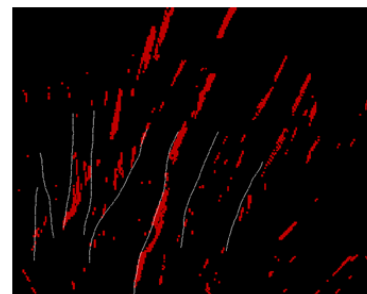
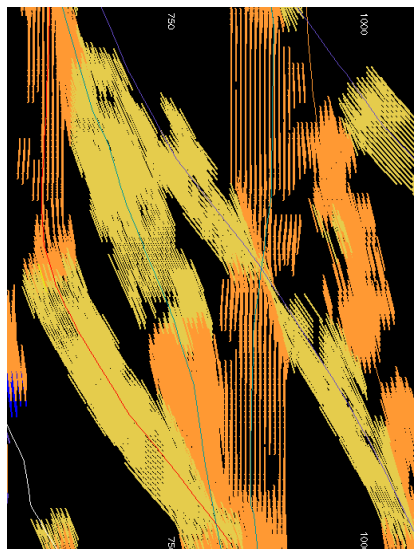
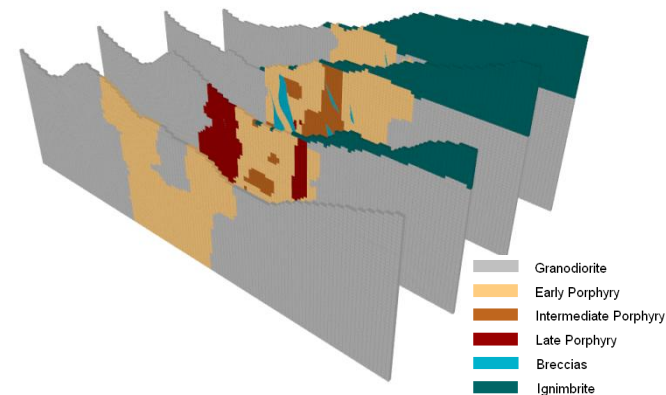
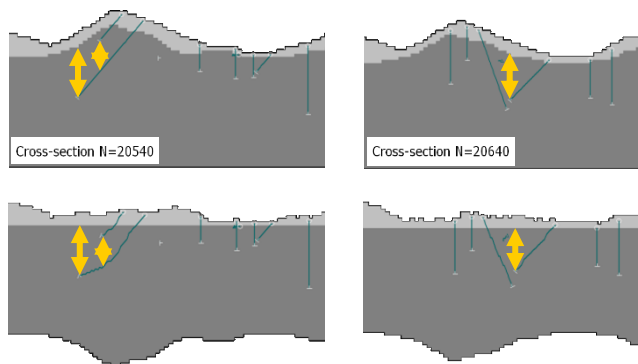






Modelamiento de variables categóricas:

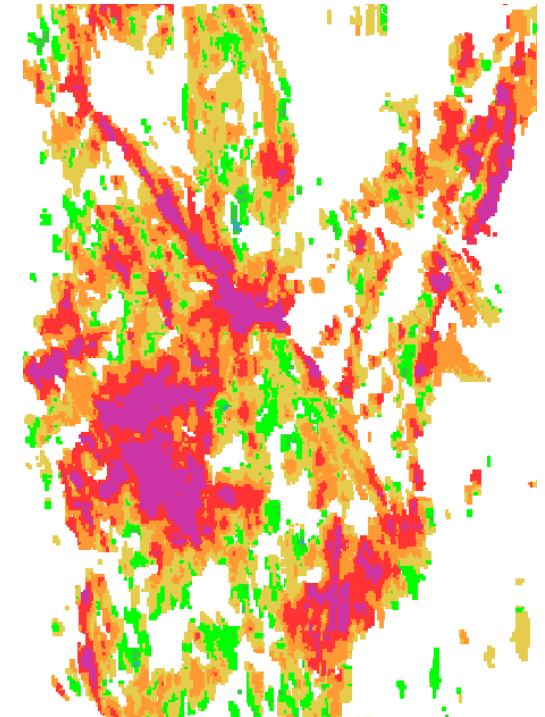
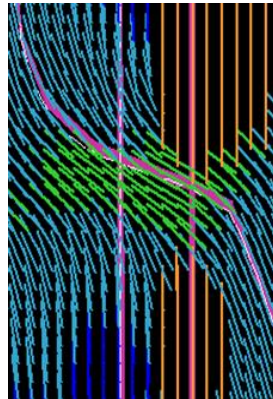
- Kriging de indicador,
- Kriging de indicadores secuenciales,
- Kriging con rumbo / manto variable,
- Simulación condicional de indicadores,
- Simulación gaussiana / pluri-gaussiana truncada.





Estimación de recursos minerales

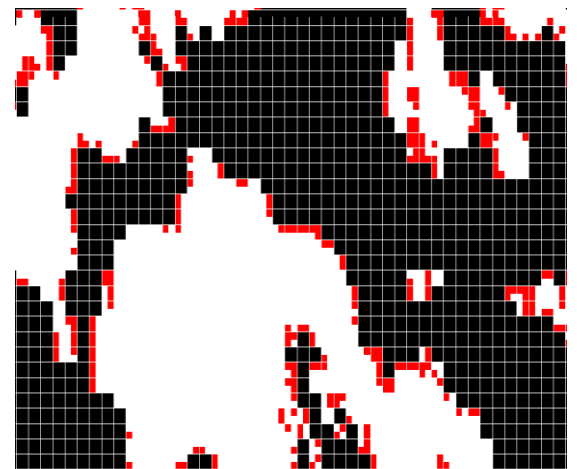
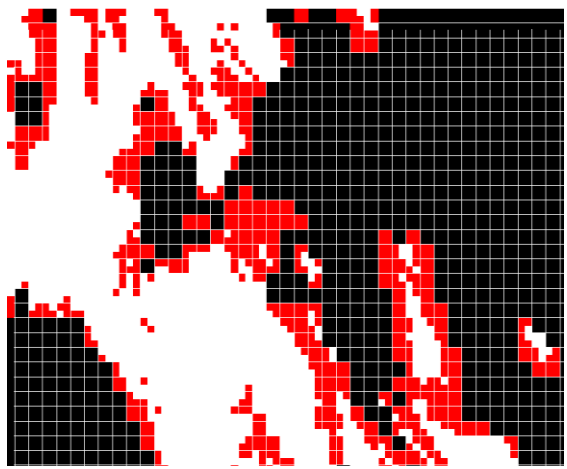
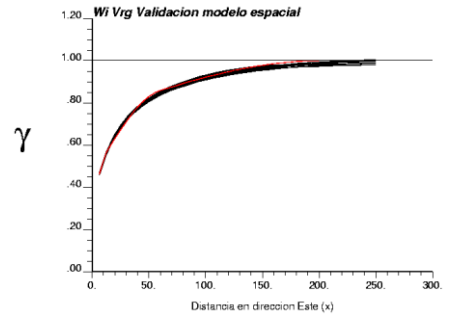
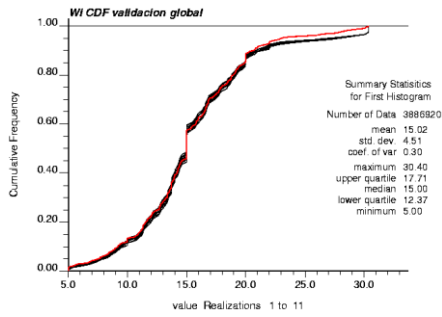
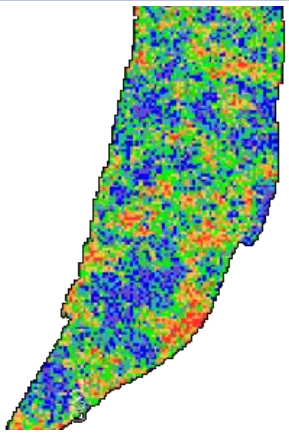
- **Estimación determinística: Kriging ordinario / simple con rumbos y manteos variables**
- Estimación estocástica: Simulación Gaussiana Secuencial para cuantificar el error de estimación y optimizar la malla de perforación en función de la escala de producción
- Dilución de contacto de estéril / mineral (probabilidades y sub-celdas)





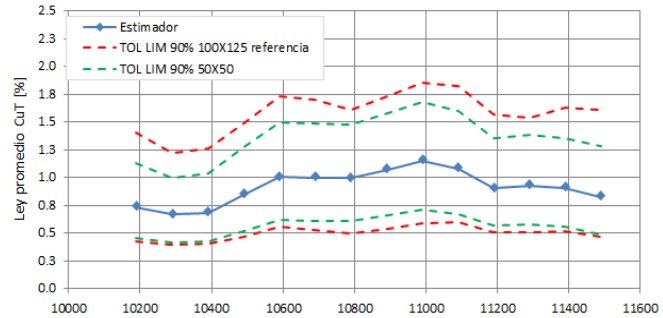
Estimación de recursos minerales

- Estimación determinística: Kriging ordinario / simple con rumbos y manteos variables
- **Estimación estocástica:**  
**Simulación Gaussiana**  
 Secuencial para cuantificar el error de estimación y optimizar la malla de perforación en función de la escala de producción
- **Dilución de contacto de estéril / mineral** (probabilidades y sub-celdas)

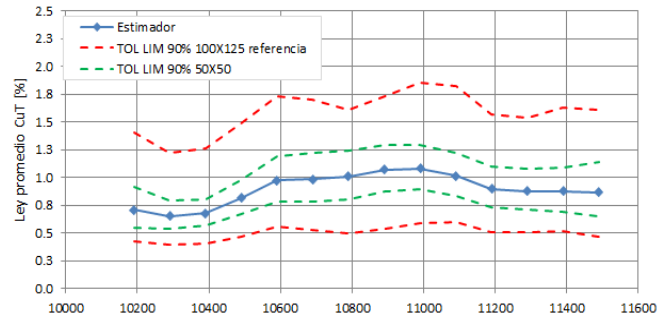




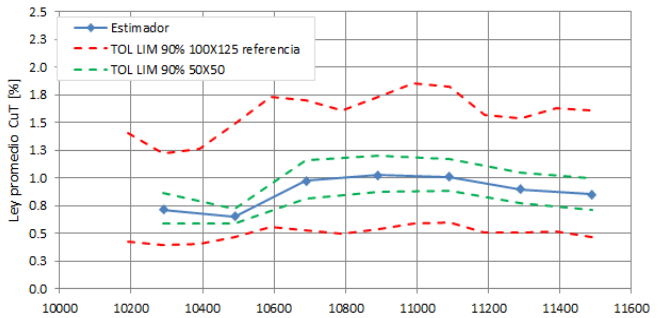
Análisis de error de estimación en función de la escala de producción de 15[kt]



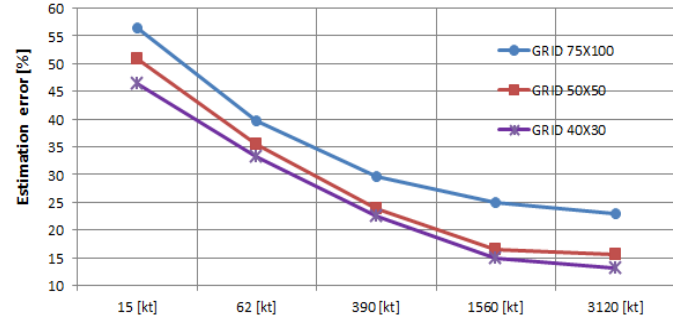
Análisis de error de estimación en función de la escala de producción de 390[kt]



Análisis de error de estimación en función de la escala de producción de 3120[kt]



Primary Mineralization unit  
Error analysis as a function of drilling space and production scale



### Clasificación de recursos minerales

- Dominios de estimación
- Escala de producción
- Error de 15% con 90% de confianza
- Varianza de Kriging
- Simulación condicional de indicadores y de leyes
- **Optimización de perforación en función de clasificación de recursos minerales**



El papel de la Clasificación de Recursos Minerales, en cualquier estado de evaluación de Recursos Minerales, es asignar a variable(s) estimada(s) un nivel de confianza adecuado.

El nivel de confianza correctamente asignado asegura que el carácter, cantidad y calidad de mineral sea adecuado para la extracción y tratamiento metalúrgico y comercialización.

Apoyándose sobre decisiones objetivas y usando el mejor conocimiento, Clasificación de Recursos Minerales en la operación minera/proyecto debería ayudar en desarrollo minero y procesos metalúrgicos.

Para que la Clasificación de Recursos Minerales sea considerada confiable, la metodología de clasificación debería satisfacer los requerimientos siguientes:

#### Clasificación de recursos minerales

- **Dominios de estimación**
- **Escala de producción**
- **Error de 15% con 90% de confianza**
- **Varianza de Kriging**
- Simulación condicional de indicadores y de leyes
- Optimización de perforación en función de clasificación de recursos minerales



1. Clasificación tiene que ser transparente y objetiva lo que se logra mediante los parámetros numéricos definidos integralmente y de acuerdo a la modelación de geometría/ley y la estrategia de interpolación.
2. Método de clasificación tiene que ser reproducible y auditable fundada en los principios cuantitativos de la escala de producción.
3. La escala de producción en la Clasificación de Recursos Minerales debiera considerar un periodo de tiempo que se requiere reconciliar. Esto se refiere a la relación entre Tamaño de unidad de producción y Error de estimación.
4. Los límites de tolerancia entre lo estimado y el resultado real debieran ser establecidos explícitamente de acuerdo a la naturaleza de mineralización y los requerimientos operacionales.

#### Clasificación de recursos minerales

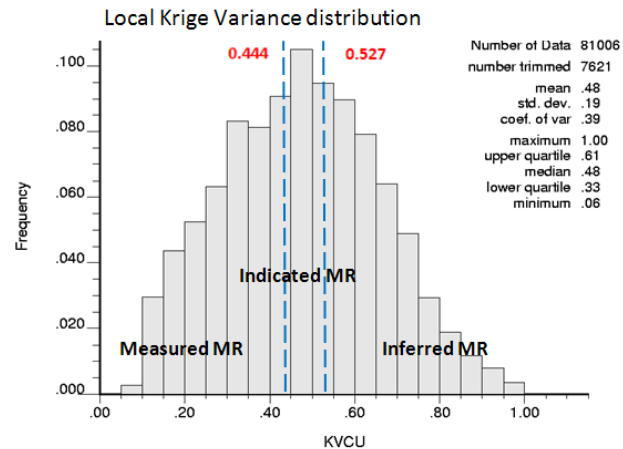
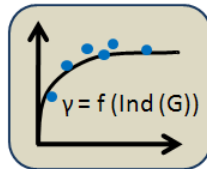
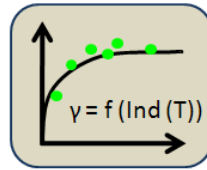
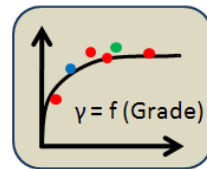
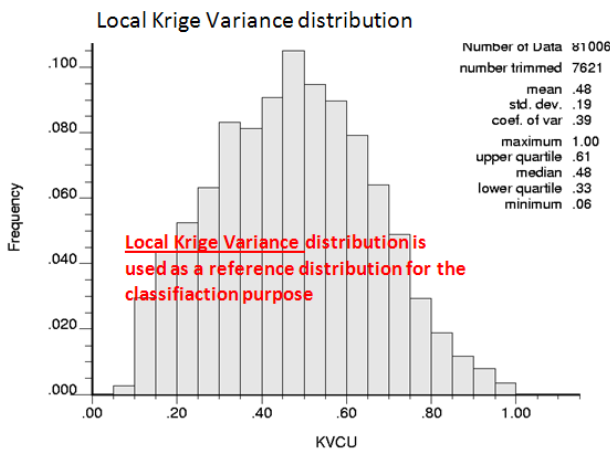
- **Dominios de estimación**
- **Escala de producción**
- **Error de 15% con 90% de confianza**
- **Varianza de Kriging**
- Simulación condicional de indicadores y de leyes
- Optimización de perforación en función de clasificación de recursos minerales



5. Mediante el análisis de los resultados de Clasificación de Recursos Minerales, debería ser posible definir áreas donde la confianza cuantificada de geometría/estimadores necesita la confección de datos adicionales.

Los resultados categorizados deben ser sometidos al monitoreo continuo y el proceso de validación regular.

- Clasificación de recursos minerales
- Dominios de estimación
  - Escala de producción
  - Error de 15% con 90% de confianza
  - Varianza de Kriging
  - Simulación condicional de indicadores y de leyes
  - Optimización de perforación en función de clasificación de recursos minerales





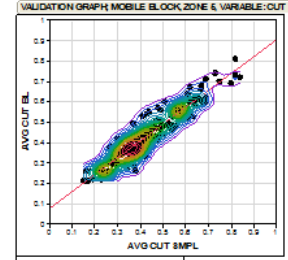
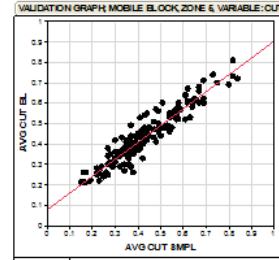
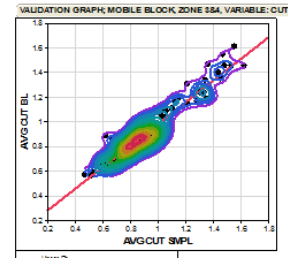
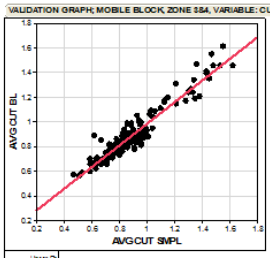
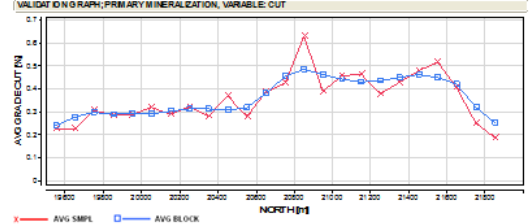
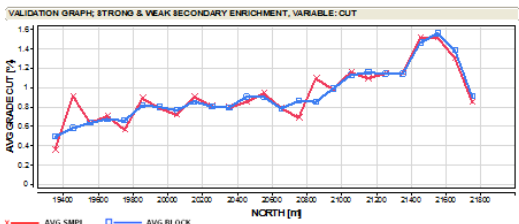
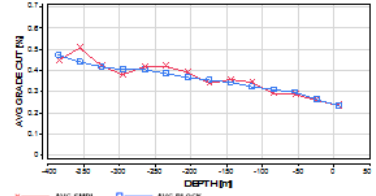
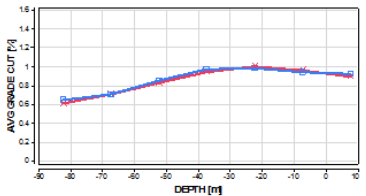
Sin medir los resultados de la estimación se hace imposible controlar los recursos minerales, cuantificar el riesgo y gestionar la mejora.

Validación de estimación de recursos minerales mediante las comparaciones locales:

- deriva y bloque móvil

Reconciliación de recursos minerales estimados con recursos minerales in-situ

- Error relativo mensual
- Error relativo por categoría







El sistema de reconciliación en línea fue creado para monitorear los resultados de la estimación de recursos minerales y poder seguir el destino de mineral extraído.

La reconciliación se hace una vez al mes. Durante los primeros cinco días hábiles de cada mes se tabulan los recursos minerales de diferentes puntos de control.

Tenemos 10 puntos de control:

Programa de desarrollo minero – Budget: **SMB** / Schedule Mine Budget

Modelo de recursos minerales a largo plazo: **LTM** / Long Term Model

Modelo de recursos minerales a corta plazo: **STM** / Short Term Model

Modelo de recursos minerales in-situ: **IMR** / In-situ Mineral Resources

Validación de estimación de recursos minerales mediante las comparaciones locales:

- deriva y bloque móvil

**Reconciliación de recursos minerales estimados con recursos minerales in-situ**

- **Error relativo mensual**
- **Error relativo por categoría**



Modelo con zonas minerales – polígonos de extracción: **ROR** / Recoverable Ore Reserves

Extracción de mineral: **ORE** / Ore Reserves Extraction

Mineral enviado a los acopios (canchas/stocks): **STP** / Stock Piles

Mineral enviado a los chancadores primarios: **PCR** / Primary Crasher

Mineral llevado desde los acopios a los chancadoras: **SFD** / Secondary Feeding

Mineral tratado en las plantas: **PMT** / Plant Mineral Treatment

Validación de estimación de recursos minerales mediante las comparaciones locales:

- deriva y bloque móvil

**Reconciliación de recursos minerales estimados con recursos minerales in-situ**

- **Error relativo mensual**
- **Error relativo por categoría**



## Mineral Resources & Ore Reserves Reconciliation



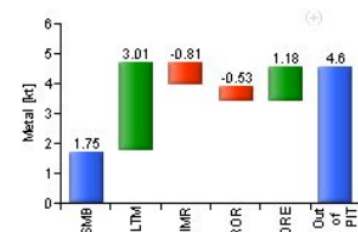
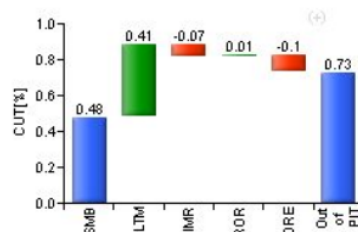
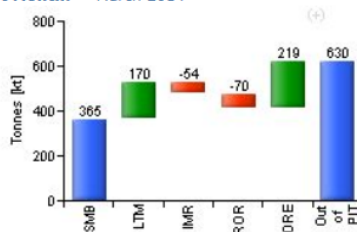
Mining Operation: El Soldado

Variable: CUT[%]

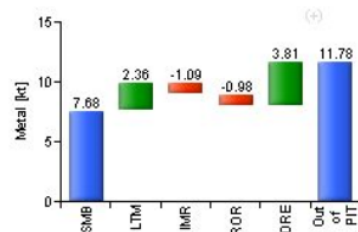
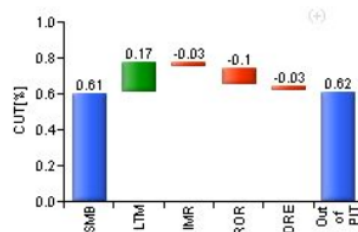
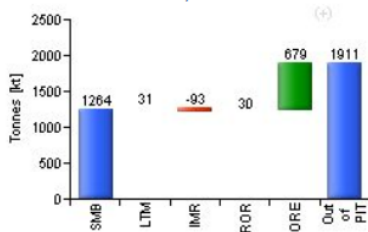
Month	Scheduled Monthly Budget (SMB)			Long Term Model (LTM)			In-Situ Mineral Resources (IMR)			Recoverable Ore Reserves (ROR)			Ore Reserves Extraction (ORE)		
	Tonnes [t]	Grade	Metal [t]	Tonnes [t]	Grade	Metal [t]	Tonnes [t]	Grade	Metal [t]	Tonnes [t]	Grade	Metal [t]	Tonnes [t]	Grade	Metal [t]
201401	420,978	0.59	2,484	78,704	0.48	378	118,099	0.51	602	154,080	0.32	493	473,741	0.51	2,416
201402	478,000	0.72	3,442	680,867	0.72	4,902	602,423	0.73	4,398	666,296	0.61	4,064	807,827	0.59	4,766
201403	364,874	0.48	1,751	535,001	0.89	4,762	481,238	0.82	3,948	411,487	0.83	3,415	629,894	0.73	4,598
<b>Total</b>	<b>1,263,852</b>	<b>0.61</b>	<b>7,677</b>	<b>1,294,572</b>	<b>0.78</b>	<b>10,042</b>	<b>1,201,780</b>	<b>0.74</b>	<b>8,946</b>	<b>1,231,863</b>	<b>0.65</b>	<b>7,972</b>	<b>1,911,462</b>	<b>0.62</b>	<b>11,780</b>

### SMB - reference model : Discrepancy analysis on Tonnage, Grade and Fine copper throughout the Reconciliation phases

Current Month: March 2014



Time interval from: January 2014 to March 2014



SMB Scheduled Monthly Budget  
IMR In-Situ Mineral Resources

LTM Long Term Model  
ROR Recoverable Ore Reserves

STM Short Term Model  
ORE Ore Reserves Extraction



## Mineral Resources & Ore Reserves Reconciliation



Menu [Logout](#) admin

Month: **April 2014** [Open](#)

### Relative Error Summary

Reconciliation Entity:

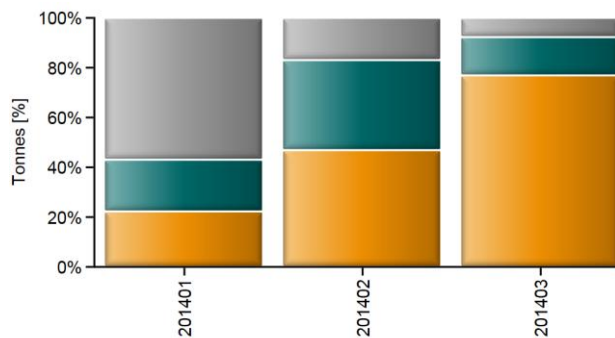
Variable:

Time period:  Last 12  From / To

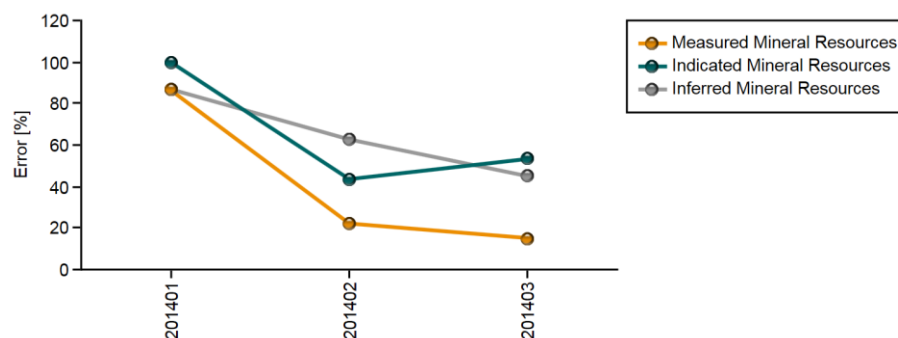
[Search](#)

Report options: [Graph](#) [Export](#) [PDF](#)

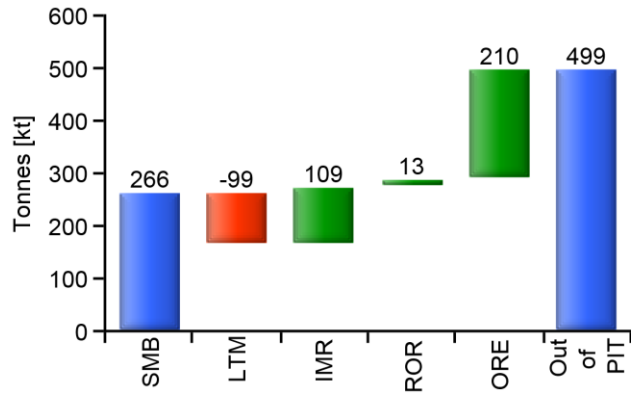
Month	Class	Measured		Indicated		Inferred		Total	Measured		Indicated		Inferred	
		Tonnes	Grade	Tonnes	Grade	Tonnes	Grade		% Participation	% Error	% Participation	% Error	% Participation	% Error
201401	O-O	2,407	1.1	0	0	5,886	0.44	8,293						
	W-O	15,417	0.5	15,949	0.57	39,045	0.41	70,411	22.65	86.50	20.26	100.00	57.09	86.90
	O-W					109,806	0.49	109,806						
201402	O-O	250,310	0.98	137,638	0.62	43,006	0.51	430,954						
	W-O	71,391	0.56	106,256	0.57	72,266	0.52	249,913	47.25	22.19	35.82	43.57	16.93	62.69
	O-W					171,469	0.49	171,469						
201403	O-O	349,052	1.07	39,018	0.65	21,979	0.45	410,049						
	W-O	62,434	0.62	44,566	0.5	17,952	0.44	124,952	76.91	15.17	15.62	53.32	7.46	44.96
	O-W					71,209	0.49	71,209						
Total	O-O	601,769	1.03	176,656	0.62	70,871	0.48	849,296						
	W-O	149,242	0.57	166,771	0.55	129,263	0.47	445,276	58.01	19.87	26.53	48.56	15.46	64.59
	O-W					352,484	0.49	352,484						



Monthly proportion by category



Monthly error by category



Mineral Resources & Ore Reserves | Reconciliation



## Executive Summary by VP Geology

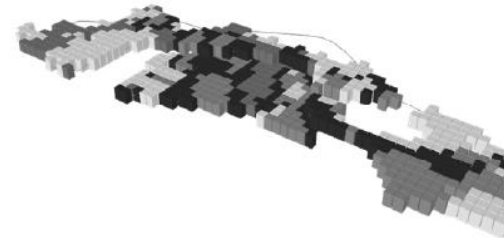
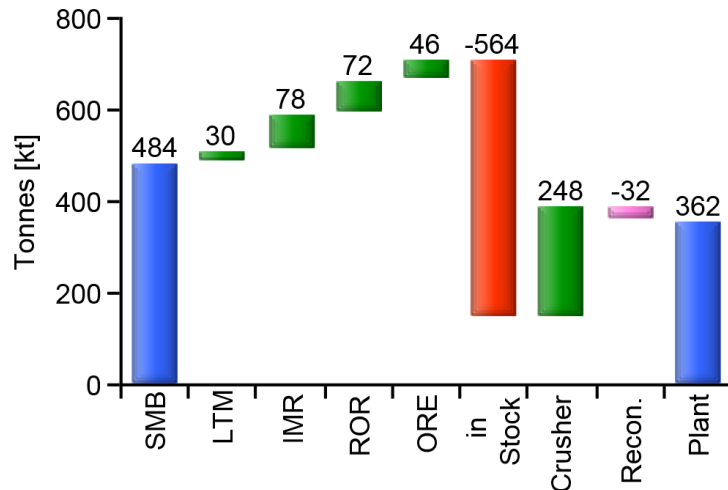
Mining operation  
Division  
El Soldado

Superintendent in charge  
Javier Gonzalez

Date  
April 2014

VP Geology  
Sergio Godoy P.

Lead Competent Person  
Tomasz Wawruch



Taking care of monthly reconciliation allows to quantify the results of every day efforts and to prove the efficiency in mining operation all the way along the industrial process downstream.

Gracias