

# COBRE EQUIVALENTE UNA ALTERNATIVA DE MINADO, MINA LA “CARIDAD”

**ING. MARCO ANTONIO FIGUEROA QUIJADA**

MEXICANA DE COBRE, S.A. de C.V., UNIDAD “LA CARIDAD” (marco.figueroa@mm.gmexico.com)

---

## RESUMEN

Anteriormente en la mina La “Caridad”, las alternativas de minado a largo plazo eran elaboradas bajo el criterio de utilizar el cobre como elemento primario en el proceso de optimización de tajos. El objetivo del presente trabajo es exponer una metodología para elaborar una alternativa de minado por “Cobre Equivalente en la mina La “Caridad”, basada en el concepto de la aplicación de leyes equivalentes, la cual implique el uso de una ley de corte variable o económica. Actualmente, existen dos procesos metalúrgicos para la recuperación de Cobre en la mina La “Caridad”.

- Concentradora, fundición y refinería
- Extracción por solventes y deposición electrolítica (E. S. D. E.)

Adicionalmente, existe un proceso metalúrgico para la recuperación de concentrados de molibdeno.

## ABSTRACT

Formerly at the “La Caridad” mine, the long term mining alternatives were implemented under the criteria of using copper as the main element in the pit optimization process. The following paper, tries to show the method employed as a mining alternative based on the concept of “equivalent copper at the La Caridad mine”. That is applying the concept of equivalent grades that implies the making use of a variable “cut off grade” as an economics variable. Currently, there are two metallurgical processes for copper recovery at the “La Caridad mine”.

- Concentrator, Smelting and Refinery
- Solvent extraction and electrolytic deposition (S.X.E.W.)

In addition to the above, there is a metallurgical process, for the production of molybdenum from copper concentrate.

## LOCALIZACION

La mina La “Caridad” se localiza en el Estado de Sonora, México, a 260 Km. al noroeste de la ciudad de Hermosillo y a 240 Km al sur de la ciudad de Tucson, Arizona, EE.UU. (Figura 1). La población más cercana es Nacozari de García ubicada a 22 Km. al sureste, con las siguientes coordenadas geográficas: latitud N 110, 39', longitud W 30, 21'.

## METODOLOGÍA

### Estimación del recurso geológico

La estimación del recurso geológico fue realizada aplicando el estimador del inverso de la distancia al cuadrado. Los parámetros de interpolación tales como, el radio de interpolación, número máximo y mínimo de muestras, tipo de búsqueda; fueron determinados en función a los estudios de los variogramas durante el análisis estructural.

### Optimización del recurso geológico

El propósito de la optimización de tajos a cielo abierto es determinar que parte del recurso geológico es económicamente minable bajo ciertas consideraciones económicas utilizando sistemas de minado a cielo abierto para su explotación.

## INFORMACION ECONÓMICA

Para el cálculo de la ganancia se utiliza la ecuación estándar **Ganancia = Ingresos – Costos**. Los ingresos están en función a los precios de los metales y a las recuperaciones metalúrgicas. La información económica incluye costos operativos directos e indirectos de la operación los costos de sostenimiento de capital.

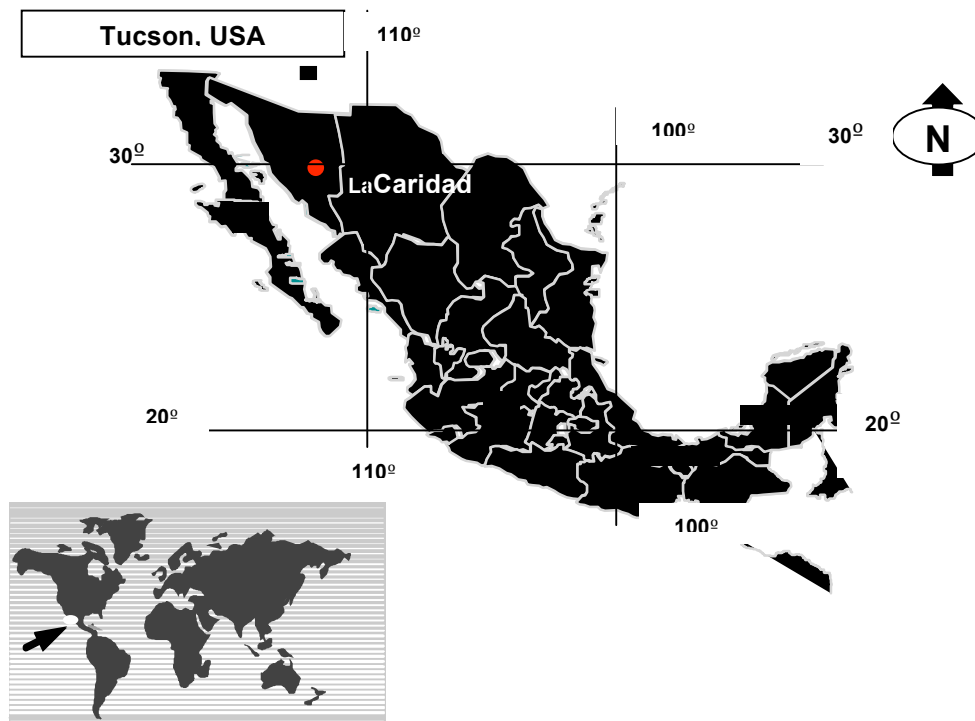


Figura 1. Plano de localización.

### Precios de los metales

Los ingresos en la mina La “Caridad” son generados principalmente por el cobre y el molibdeno, adicionalmente, existen otros ingresos en menor proporción por oro y plata, los cuales son considerados como créditos al producto final y son recuperados en el proceso de refinación.

### Procesos metalúrgicos

Existen dos procesos metalúrgicos para recuperar el cobre en la mina La “Caridad”:

- Flotación, fundición y refinación.
- Lixiviación y extracción por solventes y deposición electrolítica (E.S.D.E.)

Existe un proceso para producción de concentrados de molibdeno: flotación

La mina la “Caridad” cuenta con un modelo metalúrgico para el cálculo de las recuperaciones teóricas del cobre y de molibdeno. Las ecuaciones metalúrgicas están basadas en función a la información arrojada por los programas de barrenación para pruebas metalúrgicas del yacimiento.

Para fundición y refinación se consideran recuperaciones constantes de cobre de 97.5 y 99.9 % respectivamente.

## Costos

Los costos considerados en la evaluación incluyen costos operativos directos e indirectos, generales y de administración, así como, costos de sostenimiento de capital para mina, mantenimiento y las plantas metalúrgicas.

## CÁLCULO DEL VALOR NETO DEL BLOQUE

### Metodología

Los precios de los metales, las recuperaciones metalúrgicas y los costos directos e indirectos son utilizados para computar dos tipos de ganancia en cada bloque. El destino del bloque es determinado por el valor neto (\$USD) de éste y es calculado por medio de una rutina económica que integra a cada proceso metalúrgico. Donde el bloque genera el mayor valor presente neto (VPN) se le asigna un código - destino de proceso (Tabla 1).

La siguiente tabla muestra los destinos que toman los bloques o el material considerando la premisa mencionada en el párrafo anterior.

Concentradora, Lixiviación, Tepetate.	Código	Descripción
Concentradora %Cu > 0.3	1	+ 0.3% Cu, arriba de la ley de corte económica.
Concentradora y/o Lixiviable	2	Material por encima de la ley de corte de mineral de concentradora y lixiviable
Lixiviable Valor Neto Positivo y Concentradora Valor Neto Negativo.	3	Material de lixiviación por encima de su ley de corte económica.
Lixiviable paga su Costo de Proceso. (Marginal)	4	Material de lixiviación por encima de su ley de corte marginal. Únicamente paga su costo de proceso.
Tepetate	5	Material considerado como tepetate.
Material de Relleno	6	Material Reminado
Tepetate Valor Negativo	7	Tepetate, valor = costo de mina
Concentradora %Cu < 0.3	8	- 0.3% Cu mineral arriba de la ley de corte económica. (Efecto de la ley de Molibdeno)

Tabla 1. Código de destino de los bloques.

### Ecuaciones para el cálculo del valor neto del bloque

El cálculo del cobre equivalente utilizando el concepto de leyes equivalentes es basado en expresar los ingresos del molibdeno en términos de leyes equivalentes de cobre.

Primeramente, es necesario calcular un factor de equivalencia que normalice la relación de los ingresos de molibdeno con los ingresos del cobre, lo anterior se realiza de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$\text{Factor} = (\text{Precio del Mo} \times \text{Recuperación del Mo}) / (\text{Precio del Cu} \times \text{Recuperación del Cu})$$

Posteriormente, el factor determinado se utiliza para el cálculo de la ley de cobre equivalente.

$\% \text{ Ley de cobre equivalente} = \% \text{ Ley de cobre} + (\text{Factor} \times \% \text{ Ley de molibdeno})$

En nuestro estudio se utilizó una ecuación más compleja, la cual consideró los costos por cada uno de los procesos, a lo anterior, se ha calculado los valores netos por cada bloque utilizando individualmente las leyes de cobre y molibdeno sin tener necesidad de utilizar aproximaciones de leyes de cobre equivalente.

## ÁNGULOS DE TALUDES FINALES DE TAJO

Los ángulos de los taludes finales utilizados en el proceso de optimización fueron basados en el “**Estudio Geotécnico de Call & Nicholas**”, desarrollado en Mayo 2004.

**Call & Nicholas** recomienda en su estudio utilizar banco sencillo por encima del nivel 1275 m.s.n.m. (Aluvión, Encape de lixiviación y enriquecimiento secundario) y doble banco por debajo del mismo nivel (Rocas félsicas). En material de relleno o terreros utilizar un ángulo de 37 grados máximo. El estudio contempla dominios estructurales del yacimiento, los cuales fueron subdivididos en sectores basados en el ángulo y la orientación de las paredes del tajo.

A continuación se muestra una vista en planta (X-Y) del resultado obtenido del proceso de la optimización. Esta vista exhibe los contornos económicos y se le denomina tajos o “**Shells**”**LG**, se considera que este tipo de tajos aun no cuentan con caminos y rampas, a lo anterior, se requiere continuar con el proceso del diseño operativo del tajo. (Figura 2).

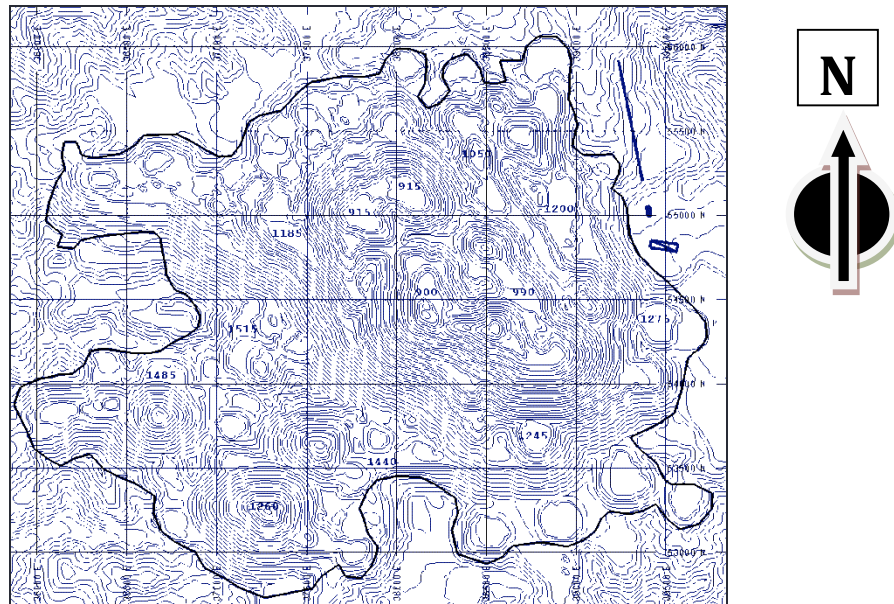


Figura 2. Contornos económicos finales o “Shell LG”

## DISEÑO DE TAJO FINAL

El tajo económico o “**Shell LG**” es utilizado como una guía económica para el diseño final del tajo durante el proceso de diseño, los contornos son suavizados y agregadas las rampas y caminos de acarreo.

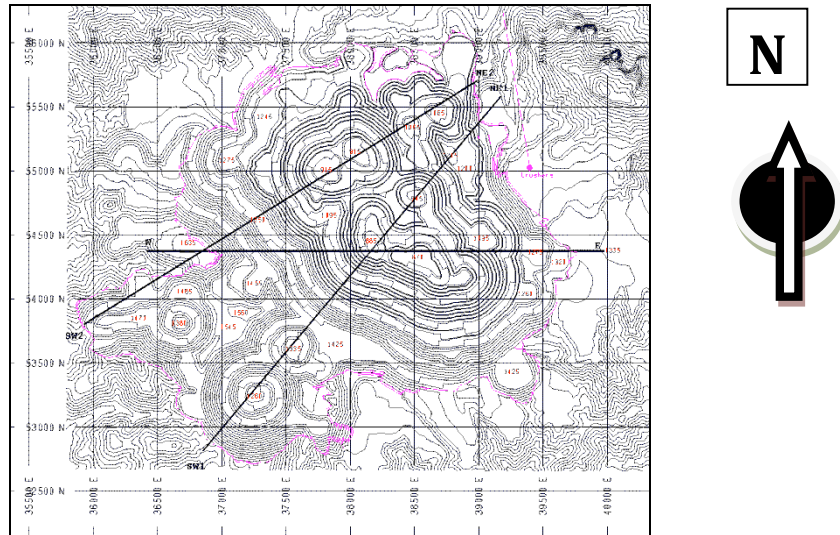


Figura 3. Tajo final operativo con caminos y rampas

## 2.6 RESERVAS MINABLES

Las reservas minables es la porción del recurso geológico económicamente explotable. El reporte incluye: tipo de material y la calidad de sus leyes, i. e. Mineral para concentradora (código 1 y 8), mineral para el proceso de lixiviación (código 2, 3,4) y tepetate o estéril (código 5, 6 y 7) incluye tepetate *insitu* y material de relleno.

## 2.7 PLANEACION A LARGO PLAZO

Posterior a la estimación de las reservas minables y al diseño final del tajo operativo, el siguiente procedimiento en términos de planeación minera, es realizar antes de la elaboración de los programas de producción a largo plazo las siguientes tareas:

- **Secuencia de minado.** La evaluación de la secuencia de minado es realizada para encontrar el progreso del minado desde la topografía inicial hasta la última superficie del tajo final. Normalmente la optimización del valor presente neto de las ganancias son realizadas en las porciones del tajo económico con mayor ganancia por tonelada minada.
- **Capacidades de terreros.** Las capacidades de los terreros de lixiviación y tepetate son requeridos para asegurar la deposición de los materiales de lixiviación y tepetate resultante de la estimación de las reservas minables.
- **Tiempos de ciclo de acarreo.** Los tiempos de ciclo de acarreo de los destinos de los materiales son estimados para cada banco en cada fase de minado, considerando la velocidad y la distancia equivalente de los equipos de acarreo.

## CONCLUSIONES

Si los precios y los costos del largo plazo con que se evaluaron las reservas minables han cambiado sustancialmente, la situación crea una necesidad de realizar nuevos estudios de optimización y la implementación de otras alternativas de producción en las unidades mineras.

Adicionalmente a lo anterior, la importancia que han adquiridos los subproductos o elementos secundarios como el molibdeno, el oro y la plata cuando son asociados a un elemento primario, hablando

en términos del concepto de leyes equivalentes, los subproductos se han convertido en elementos secundarios económicamente atractivos.

En conclusión la aplicación de un esquema o metodología basada en leyes de cobre equivalente para el desarrollo de una alternativa de minado base, es la mejor opción económica actualmente en la mina La "Caridad".

Los pórfidos cupríferos son un ejemplo típico en los cuales una metodología como la descrita es digna de analizarse para su implementación.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Arik, Abdula, andVaraud,Olivier. 1999, Geoestatistical Analysis and Resource Estimation: Mintec, Inc.  
Lonergan, James. 2005, Life of Mine Plan, Mintec, Inc.  
CervantesM. Jesús Alberto. 1989, Fundamentos de Geoestadística, Curso Corto. Mining and Geological Engineering Dep. University of Arizona, Tucson Arizona, 95721.  
Isaaksh. Edward, andSRIVASTAVAMohan R., 1989 Applied Geoestatitics, Oxford University Press.  
Brook Hunt, 2007 Copper metal Services