

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica



**Lineamientos Generales Para Optimización de Una Mina
a Cielo Abierto**

**Informe de Competencia Profesional
Para Optar el Título Profesional de:**

INGENIERO DE MINAS

Constantino Jesús Camarena Ames

**Lima-Perú
2008**

LINEAMENTOS GENERALES PARA OPTIMIZACION DE UNA MINA A CIELO ABIERTO

TABLA DE CONTENIDO

	CAPITULO I	
1.0	RESUMEN EJECUTIVO	3
	CAPITULO II	
2.0	GEOLOGIA	6
	2.1 Introducción	6
	2.2 Zonación Mineral	7
	2.3 Distribución de Cobre.....	8
	2.4 Modelo de Bloques	13
	2.4.1 Codificación y Modelo de Dominio de Mineralización.....	13
	2.4.2 Establecimiento del Modelo y Límites.....	15
	CAPITULO III	
3.0	MINA.....	17
	3.1 Introducción	17
	3.2 Parámetros Utilizados	18
	3.2.1 Costos Unitarios.....	18
	3.2.2 Botaderos y pads	19
	3.2.3 Ángulos de Talud	21
	3.2.4 Densidad del Material.....	21
	3.2.5 Precios.....	21
	3.2.6 Recuperaciones Metalúrgicas	23
	3.3 Tipos de Procesos	23
	3.4 Modelo de Bloques y Generación de Tajo Económico	24
	3.5 Sensibilidades.....	27
	3.6 Diseño de Tajo Operativo.....	31
	3.7 Flotación.....	35
	3.8 Lixiviación	35
	3.9 Planes de Minado	41
	CAPITULO IV	
4.0	CONCLUSIONES	44
	CAPITULO V	
5.0	RECOMENDACIONES.....	45
	CAPITULO VI	
6.0	BIBLIOGRAFIA.....	46

CAPITULO I

1.0 RESUMEN EJECUTIVO

EL desarrollo del presente informe pretende dar pautas para la optimización y diseño de una mina de cielo Abierto.

El proyecto inicia con exploración del yacimiento que consiste en ubicar el depósito económico y establecer el tamaño, composición, contornos y leyes. Los métodos de exploración incluye: geológico (mapeo visual), geoquímica, levantamientos geofísicas y taladros de perforación (perforación diamantina o perforación reversa).

En este proyecto se perforaron 205 taladros de exploración que hicieron un total de 92,800 metros. En base a interpretaciones de alteración y de ensayos de Cobre soluble en cianuro y cobre soluble en ácido, se determinaron los diferentes tipos de dominio mineral. Estos dominios están clasificados en función al tipo de procesos recuperación para el cobre y molibdeno los cuales son Lixiviación y flotación.

En base de informaciones de ensayos de los taladros y dominios de rocas y fallas se elaboro el modelo de bloques en 3 dimensiones.

Sobre el modelo de bloques se realizó un cálculo preliminar del recurso de todo el yacimiento dentro de las clasificaciones Medido e Indicado, obteniendo la cantidad de 501,100 Kton. de mineral para flotación y 108,800 Kton. de mineral para lixiviación, con leyes de corte de 0.2% y 0.1 % de cobre.

El total de recursos no esta limitados por una superficie (Tajo), para lo cual necesitamos incluir parámetros económicos, geotécnicos y metalúrgicos y determinar el limite económico, que vendría a ser el Tajo Optimizado.

Para ello se utilizaron los siguientes parámetros:

- Modelo de Bloques, se usaron las variables Leyes, y clasificación de mineral.
- Topografía base con curvas de 25 metros, que viene a ser a superficie actual.

- Costos Operativos de Minado, Se usaron los siguientes costo operativos que se muestra en la Tabla 1-1

Tabla 1-1 Costos Operativos

Ítem	US\$/ton
Minado de Desmonte	1.450
Minado de mineral lixiviación	1.350
Mineral para flotación	1.170
Proceso de Flotación	5.650
Proceso de Lixiviación	3.461
Rehandle de óxido + Mixto 1	0.350

Incluyen gastos administrativos, reclamación y sostenimiento de capital. Los costos de minado de los diferentes tipos de material varían principalmente por las distancias de acarreo, siendo los botaderos los más lejanos. La distancia de acarreo se estimó desde el nivel promedio de cada material hasta el destino de descarga, así tenemos la distancia para desmonte 6.5 Km., Oxido: 5.7 Km. y mineral para flotación 4.2 Km.

- Recuperaciones Metalúrgicas: que fueron estimados luego de pruebas metalúrgicas, teniendo así recuperaciones por tipos de proceso y mineral, como se puede apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 1-2 Recuperaciones Metalúrgicas

Tipo de Mineral	Recuperación de Cobre	Recuperación de Molibdeno
Oxidado	85%	0%
Mixto 1 (óxido + sulfuros)	87%	0%
Mixto 2 (óxido + sulfuros)	84%	60%
Sulfuro secundario (enriquecido)	90%	70%
Transicional (secundario + primario)	89%	65%
Sulfuro primario	88%	65%

- Precios de metales: US\$ 1.4 por libra para el cobre y US\$ 9 por libra para el molibdeno. Después de la deducción por conceptos de fundición, transporte marítimo, pérdidas y castigos, los precios llegan a US\$ 0.942 por libra y US\$ 6.678 por libra para el cobre y molibdeno, respectivamente.

- Ángulo de Talud: 42.5°
- Densidad: 2.5 Toneladas/m3
- Clasificación: Los cálculos se realizaron dentro de la clasificación de medido e indicado.

Luego, estos parámetros fueron ingresados al software Minesight y se corrieron con el método de Lerchs-Grossman (LG). Los resultados del tajo óptimo LG arrojan 452,921 Kton de mineral entre lixiviable y flotable dentro de la clasificación Medido e Indicado.

**Tabla 1-3
Resultados del Tajo Óptimo**

Lixiviación		Flotación			Desmante
Kton	%Cu	Kton	%Cu	%Mo	Kt
75,698	0.49	376,323	0.62	0.05	458,410

Después de la optimización requiere incluir rampas de ingreso, para lo cual sobre la superficie se genera el diseño de Tajo, que incluye acceso para el ingreso de quipos de minado.

Tabla 1-4 Clasificación de Recursos en Medido e Indicado

Precio Cu US\$/lb	Lixiviación		Flotación		
	Kton	%Cu	Kton	%Cu	%Mo
Medido	23,166	0.47	85,640	0.69	0.05
Indicado	56,039	0.48	289,619	0.60	0.05
Total	79,205	0.48	375,259	0.62	0.05

CAPITULO II

2.0 GEOLOGIA

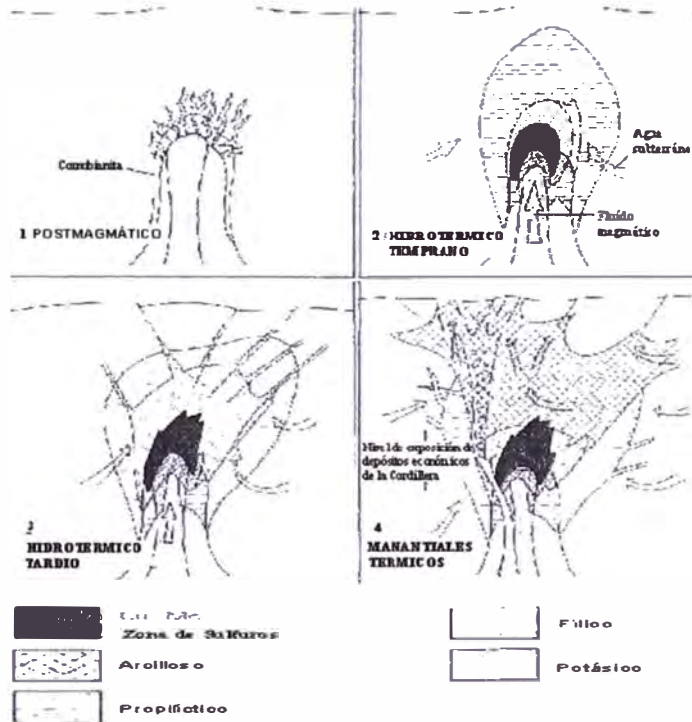
2.1 Introducción

El depósito contiene una mineralización de cobre y molibdeno porfíricos en una intrusión de cuarzo-monzonita y en cuarcita y limonitas que rodea la intrusión. Tal como se indica en la Fig 2-1 se ha identificado 3 eventos intrusivos principales y ha interpretado un stockwork de cuarzo moderadamente desarrollado relacionado con la intrusión de la fase 2 como el principal evento mineralizante. El intrusivo de la tercera fase de cuarzo-monzonita de megacrystal de feldespatos potásico también es interpretado como un evento mineralizante.

El área del depósito ha sido afectada por una alteración supergénica y posterior enriquecimiento de mineralización de cobre.

Figura 2-1

Etapas Típicas de Desarrollo de un Sistema de Cobre Porfírico



2.2 Zonación Mineral

Los grupos de minerales primarios comprenden calcopirita hipogénica, bornita, molibdenita y pirita en las vetas de cuarzo, como pequeñas vetas de sulfuro y como diseminaciones en el intrusivo y en los sedimentos. Se ha interpretado una zona poco simétrica de mineralización primaria de aproximadamente 1,200m de diámetro en vista de planta, con una extensión vertical de 1000m. Esta zona abarca todas las intrusiones y los sedimentos en los alrededores inmediatos pero parece estar centrada en todas las fases del intrusivo. La Figura 2-2 muestra la relación espacial de los dominios minerales en vista de planta.

Se ha interpretado el desarrollo de un óxido de supergénesis y zona de enriquecimiento sobre la mineralización de cobre primario.

También ha interpretado los límites de los dominios de minerales lixiviados y estériles. El dominio lixiviado comprende grupos de limonita típicos como hematina, goetita y jarosita. El dominio lixiviado descansa en el margen oriental y por encima del dominio de minerales primarios conocido y, en general, corresponde a las alturas más elevadas sobre el depósito. Los dominios de material estéril definido son relativamente menores.

La mineralización del dominio de óxidos comprende brocantita y crisocola como minerales de óxido de cobre dominante. También se encuentran presentes malaquita y azurita en menores cantidades. El dominio es asimétrico en vista de planta y es interpretado como que tiene aproximadamente 1,000m de largo en dirección noroccidental y oscila de unos cuantos metros a 700m de ancho. La zona de óxidos aparece subparalela a la topografía, oscila en espesor de 20m a 120m y descansa sobre intrusivos de la fase 1, 2 y 3. El dominio está centrado de alguna forma en los intrusivos de la fase 1 y 3 y parece estar elongado en dirección noroccidental.

La zona de mineralización enriquecida comprende calcocita, covelita, digenita, cuprita, y cobre nativo así como óxidos de cobre menores. La zona tiene aproximadamente 600m por 800m en vista de planta y oscila de 170m a 240m de espesor y descansa sobre un área vasta de los sedimentos y parece estar centrada en el intrusivo de la fase 2.

La Figura 2-2 muestra los dominios de minerales de óxido y enriquecidos mutuamente exclusivos y un corredor de tendencia noroccidental central donde se superponen las zonas. Esta relación coloca la mineralización de óxidos inmediatamente sobre la mineralización primaria en la cuarcita. El corredor donde se produce la superposición parece coincidir con una zona de fallas de tendencia noroccidental de moderadas a fuertes.

Las Figuras 2-3, 2-4 y 2-5 muestran la distribución de leyes representativas y los dominios de mineral en sección transversal. Estas secciones enfatizan aún más la relación entre el óxido y el primario y también entre los dominios enriquecidos y primario.

Se describe un horizonte muy regular de óxidos combinados y sulfuros secundarios de aproximadamente 100m de espesor que descansan directamente sobre una zona menos regular de mineralización enriquecida. Estas dos zonas no son proporcionadas como dominios de minerales en la interpretación de dominio de minerales en las vistas transversales ni en las de planta. Asimismo se observó una zona combinada de mineralización primaria y enriquecida en núcleo durante una visita en mayo del 2006 que tampoco está representada en los dominios de minerales interpretados.

Los dominios de minerales no fueron registrados en los registros de perforación sino que fueron interpretados en sección transversal a través de un proceso de comparación de la alteración observada y grupos de minerales con las leyes de cobre total y secuencial y los ratios.

2.3 Distribución de Cobre

La mineralización del proyecto comprende mineralización de cobre óxido y sulfuro con molibdeno asociado y oro menor. Globalmente, las leyes de cobre oscilan de 0.001% a 17.25%, el molibdeno oscila de 0.001% a 1.91% y oro oscila de 1ppm a más de 140ppm. El arsénico oscila de 1ppm a más de 10,000ppm. La Tabla 2-1 presenta las estadísticas simples para toda la base de datos para un grupo seleccionado de elementos.

Tabla 2-1
Estadísticas Simples para toda la Base de Datos de los Barrenos en Los Chancas

Estadísticas	Cu%	CuSS %	CuCN %	Au ppm	Mo %	As ppm
Media	0.400	0.075	0.149	0.046	0.030	204.335
Media	0.245	0.010	0.030	0.015	0.015	100.000
Modo	0.010	0.010	0.010	0.005	0.001	100.000
Desviación estándar	0.571	0.175	0.392	0.804	0.051	371.745
Mínimo	0.001	0.000	0.001	0.005	0.000	1.000
Máximo	17.250	4.972	13.550	140.000	1.907	10000.000
CV	1.427	2.329	2.629	17.475	1.709	1.819
Conteo	30857	30372	30372	30857	30857	30835

Nota: Cu es cobre total, CuSS es cobre soluble en ácido y CuCN es cobre soluble en cianuro.

Observaciones de grupos de minerales de cobre primario y enriquecido, óxido, lixiviado en testigos y ha observado zonas de oxidación de cobre en afloramientos en el depósito. El molibdeno fue observado en vetas de cuarzo en testigos y afloramientos. Los grupos de minerales, leyes y distribuciones de leyes son indicativos de un depósito Cu-Mo de pórfido enriquecido de supergénesis y primario. Las interpretaciones de dominio de minerales

pueden haber sido simplificadas, especialmente en el dominio enriquecido, para producir cuerpos cohesivos para fines de modelado.

Figura 2-2
Distribución de Dominio Mineral Proyectada a Superficie

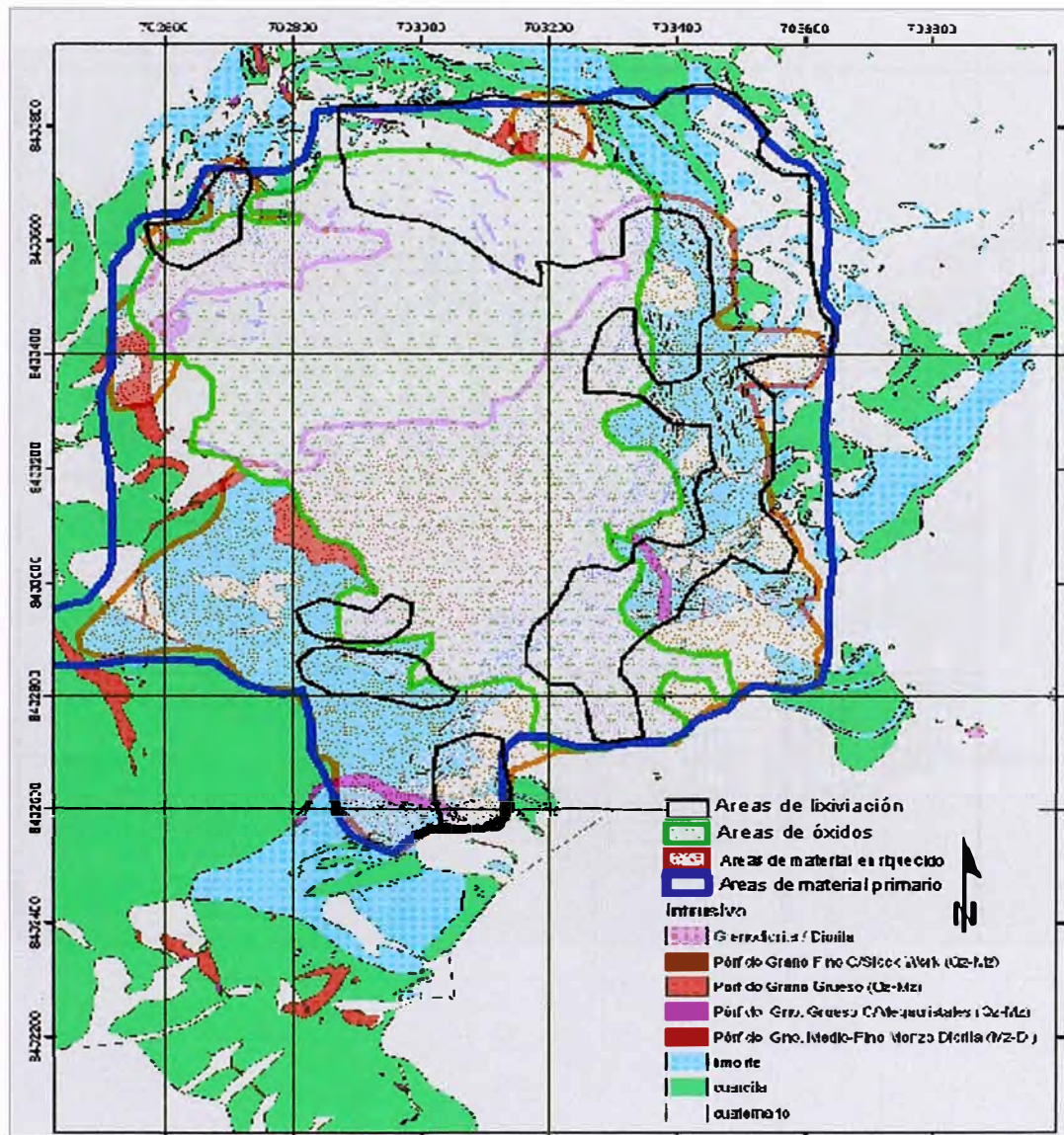


Figura 2-3
Dominios de Minerales y Cobre Total Representativo en Sección 703000E

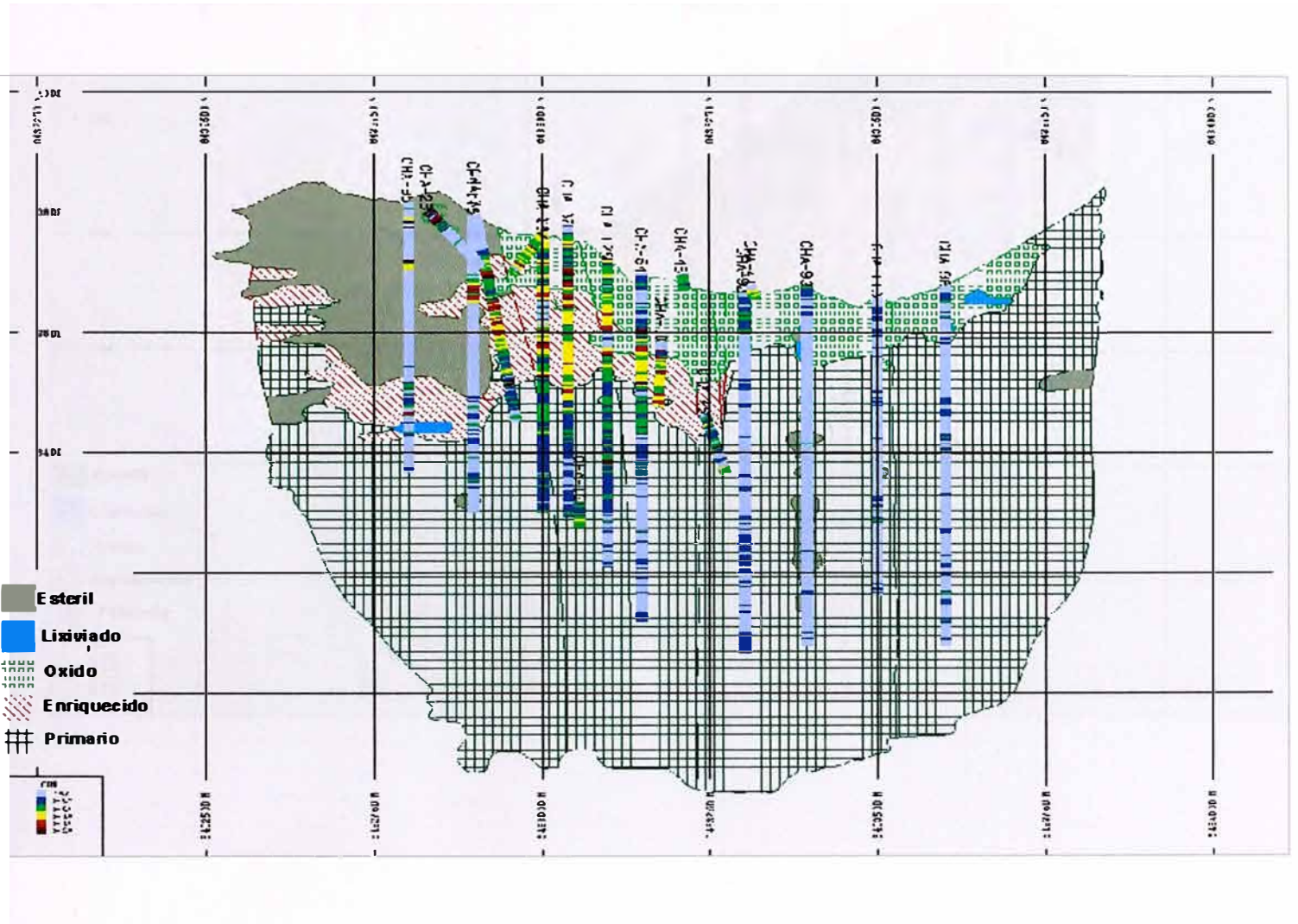


Figura 2-4
Dominios de Minerales y Cobre Total Representativo en Sección 8433100E

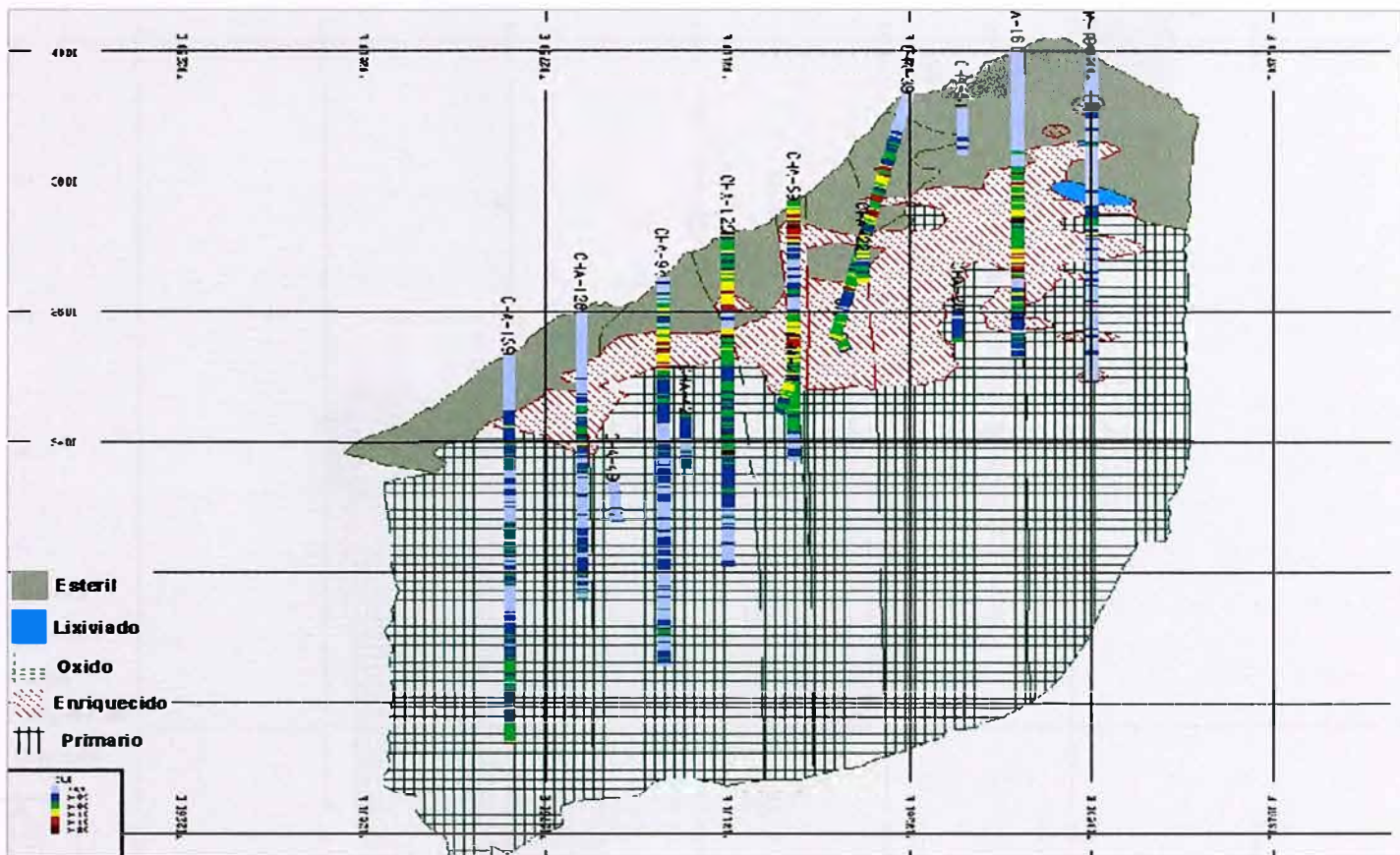
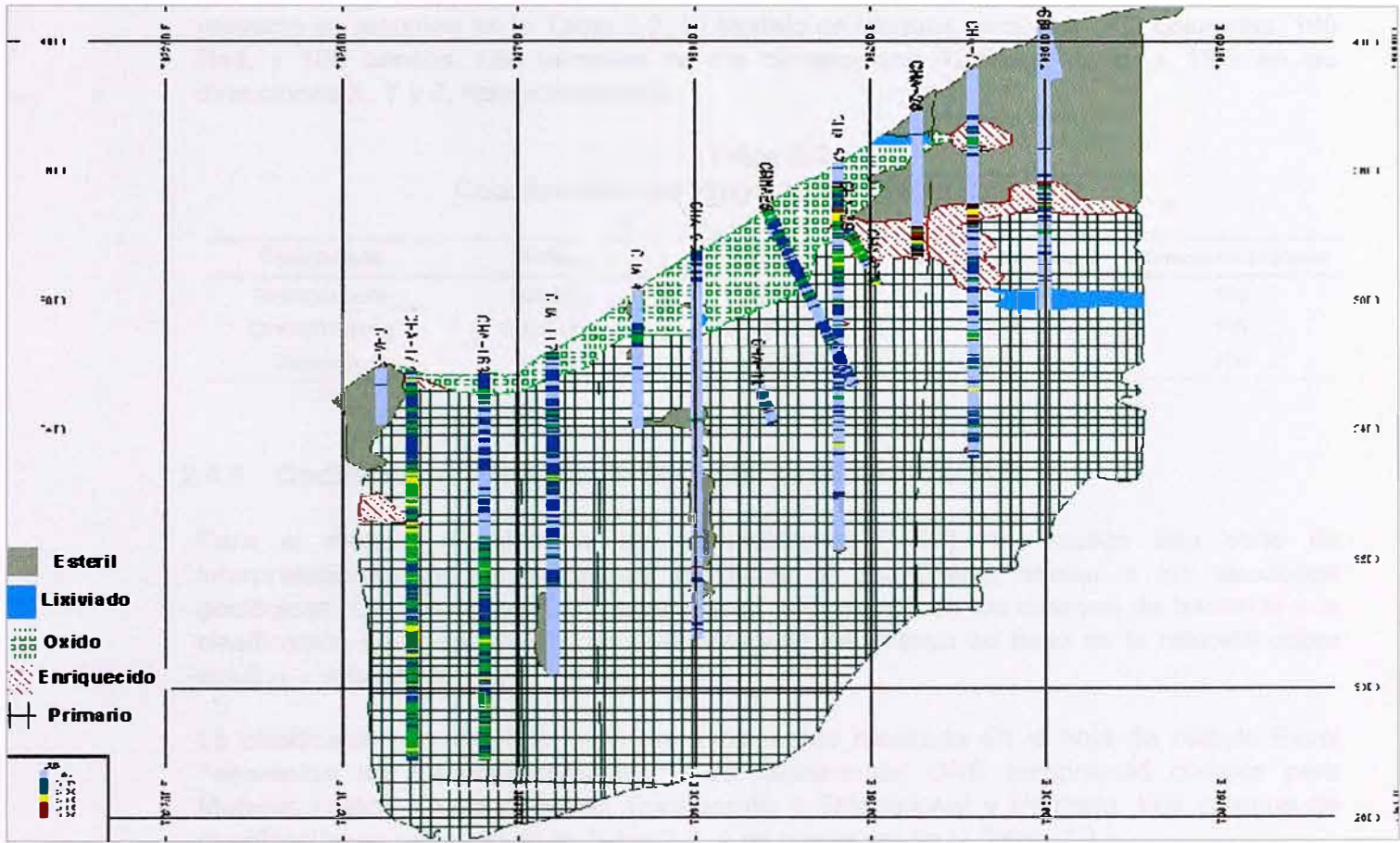


Figura 2-5
Dominios de Minerales y Cobre Total Representativo en Sección 8433400E



2.4 Modelo de Bloques

Los límites del proyecto están en el sistema de coordenadas UTM. Las coordenadas del proyecto se resumen en la Tabla 2-2, El Modelo de bloques contiene 160 columnas, 160 filas, y 100 bancos. Los tamaños de los bloques son 12.5m x 12.5m x 15m en las direcciones X, Y y Z, respectivamente.

Tabla 2-2
Coordenadas del Proyecto MineSight (metros)

Coordenada	Mínimo	Máximo	Tamaño del bloque	Número de bloques
Dirección este	502,000	504,000	12.5	160
Dirección norte	5,432,000	5,434,000	12.5	160
Elevación	1,700	3,200	15	100

2.4.1 Codificación y Modelo de Dominio de Mineralización

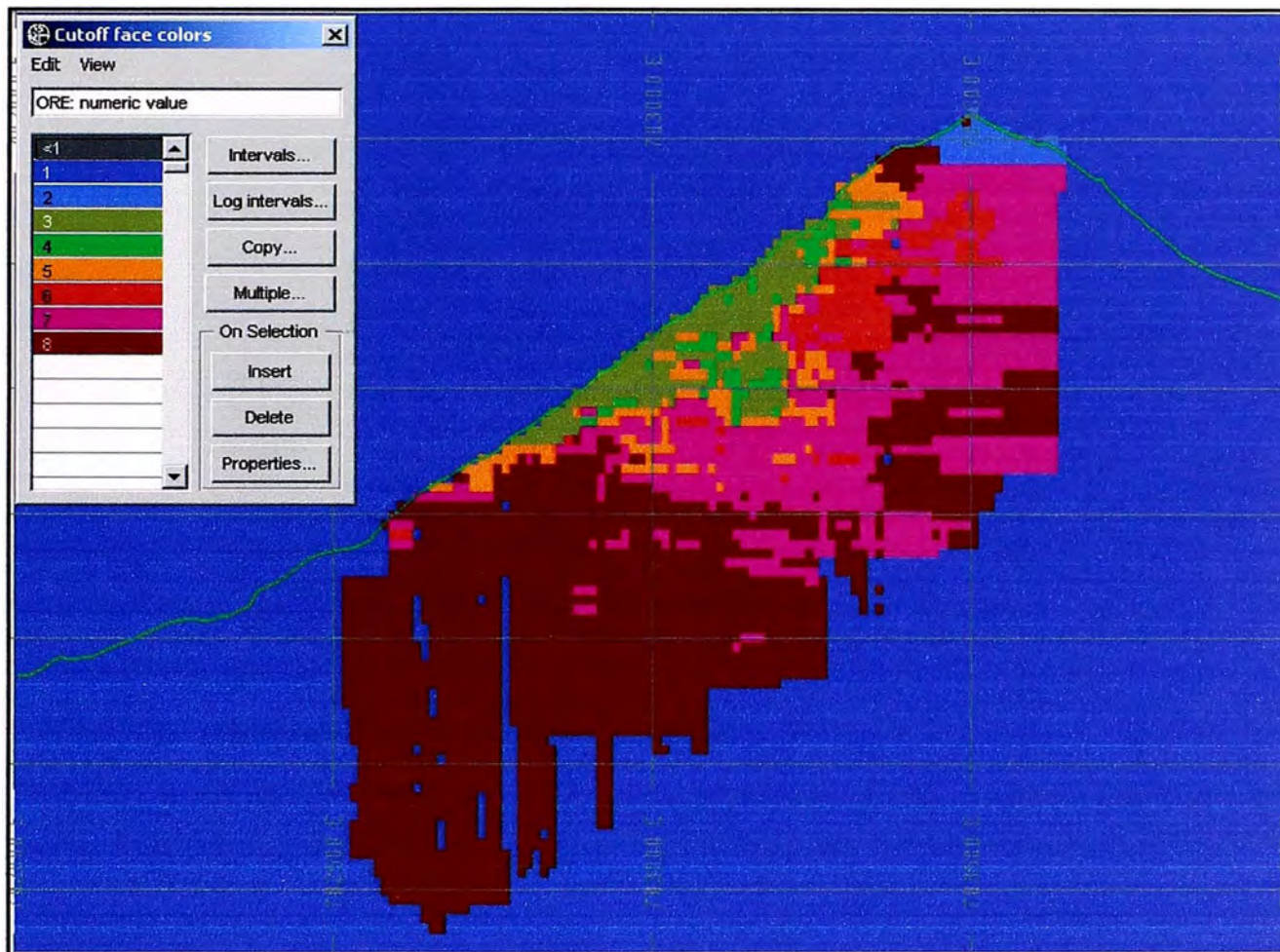
Para el modelo de dominio de mineralización (ORE), Se realizó una serie de interpretaciones de las secciones Norte-Sur y Este-Oeste, similar a las secciones geológicas. Las secciones ORE presentaron información de los ensayos de barrenos y la clasificación de dominio ORE de cada intervalo de ensaye se basó en la relación cobre soluble – cobre total.

La clasificación de dominio ORE fue inicialmente realizada en la hoja de cálculo Excel "**dominios de mineralizacion.xls.**" La clasificación ORE comprendió códigos para Material Estéril, Oxidado, Mixto, Enriquecido y Transicional y Primario. Los criterios de clasificación se resumen en la Tabla 2-3, y se puede ver en la figura 2,6.

Tabla 2-3
Criterios para Clasificar los Intervalos de Ensaye por Dominio

Material (ORE)	Relación
Default	
Desmonte	CUID<0.01% Cu
Oxidado	CUSS/CUID>=70%
Mixto 1 (óxido + sulfuros)	60%<=CUSS/CUID<70%
Mixto 2 (óxido + sulfuros)	33%<=CUSS/CUID<60%
Sulfuro secundario (enriquecido)	CUCNI/CUID>=70%
Transicional (secundario + primario)	33%>=CUCNI/CUID<70%
Sulfuro primario	CUCNI/CUID<33%

Figura 2-6
Sección Transversal de Codificación ORE



Los rangos del Dominio ore fueron asignados al modelo de bloques con los códigos del 1 al 8. Como se muestra en la tabla 2-4.

Tabla 2-4
Códigos del Dominio ORE

Material (ORE)	Código Modelo de Bloque
Default	1
Desmonte	2
Oxidado	3
Mixto 1 (óxido + sulfuros)	4
Mixto 2 (óxido + sulfuros)	5
Sulfuro secundario (enriquecido)	6
Transicional (secundario + primario)	7
Sulfuro primario	8

2.4.2 Establecimiento del Modelo y Límites

El 3DBM de los Chancas se ha iniciado en MineSight con las dimensiones que aparecen en la Tabla 2-5 El modelo de bloque no es rotado y mantiene un sistema de coordenadas UTM.

Tabla 2-5
Ítems del Modelo de Bloques del Proyecto.

Ítem	Descripcion
TOPO	% Topografía
CUID	Ley Cobre
MOID	Ley Molibdeno
CLASS	Clase de recurso
ORE	Clasificación de mineral por proceso
CUCNI	Ley de Cu soluble en cianuro
CUSSI	Ley de Cu soluble en cianuro
ROCK	Código de roca
AUID	Ley de Au

CAPITULO III

3.0 MINA

3.1 Introducción

El desarrollo del presente reporte está basado en el modelo geológico.

Se realizó la revisión del modelo y realizó un cálculo preliminar del recurso de todo el yacimiento dentro de las clasificaciones Medido e Indicado, obteniendo la cantidad de 501,100 Kton de mineral para flotación y 108,800 Kton de mineral para lixiviación, con leyes de corte de 0.2% y 0.1 % de cobre.

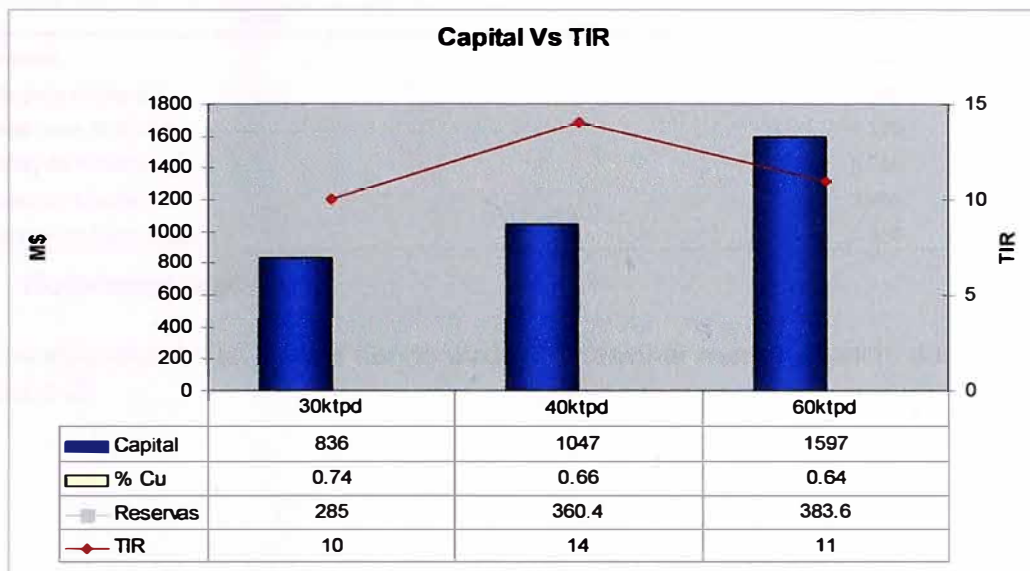
El objetivo del presente estudio es determinar el recurso económico limitado por un tajo final que de acuerdo con nuestro diseño final es:

**Tabla 3-1
Diseño Final**

	Recursos Minables Extraibles	Cut-Off	Ley Promedio
Sulfuros	375 Mton	0.3	0.62
Óxidos	79 Mton	0.2	0.49

Previamente con recuperaciones metalúrgicas preliminares, costos operativos y costos de capital estimados, se realizaron corridas de conos y elaboración de planes de minado para una planta concentradora de 30, 40 y 60 ktpd; siendo la producción de 40 ktpd la que brinda la mayor tasa interna de retorno. (Ver Figura 3-1)

**Figura 3-1
Capital Vs TIR**



En adelante el estudio se desarrolla para una producción diaria de 40,000 toneladas.

3.2 Parámetros Utilizados

A continuación los parámetros requeridos para generar el tajo, del Proyecto.

3.2.1 Costos Unitarios

Los costos unitarios que se usaron en el proceso de optimización de tajo se muestran en la Tabla 3-2, incluyen gastos administrativos, reclamación y sostenimiento de capital. Los costos de minado de los diferentes tipos de material varían principalmente por las distancias de acarreo, siendo los botaderos los más lejanos. La distancia de acarreo se estimó desde el nivel promedio de cada material hasta el destino de descarga, así tenemos la distancia para desmonte 6.5 Km., Oxido: 5.7 Km. y mineral para flotación 4.2 Km.

Tabla 3-2
Costos Operativos

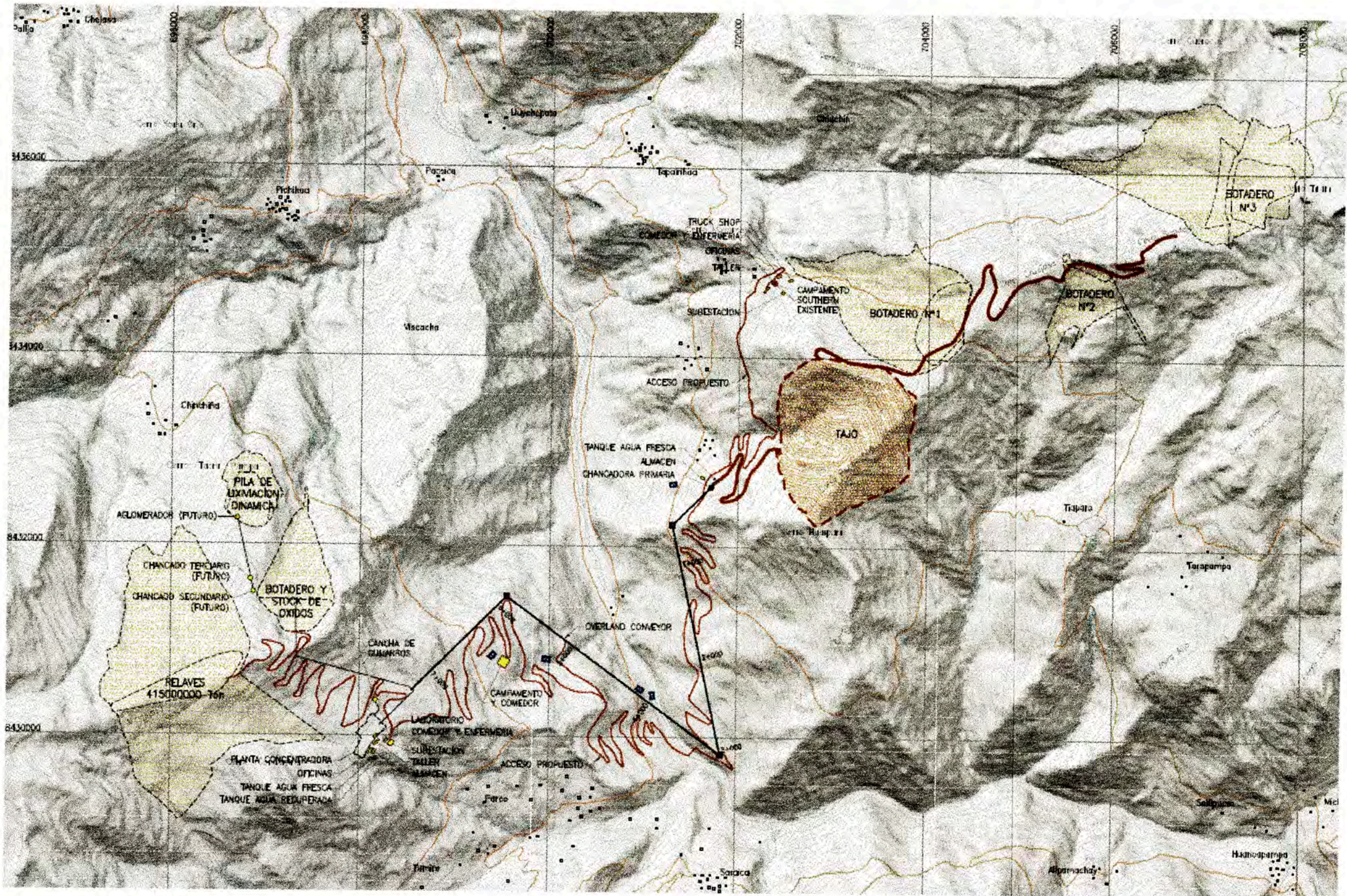
Ítem	US\$/ton
Desmante	1.450
Óxido para lixiviación	1.350
Mineral para flotación	1.170
Proceso de Flotación	5.650
Proceso de Lixiviación	3.461
Rehandle de óxido + Mixto 1	0.350

3.2.2 Botaderos y pads

Fueron ubicados en las zonas donde puedan ocasionar menor impacto ambiental y social.
(Figura 3-2)

PLANO 1

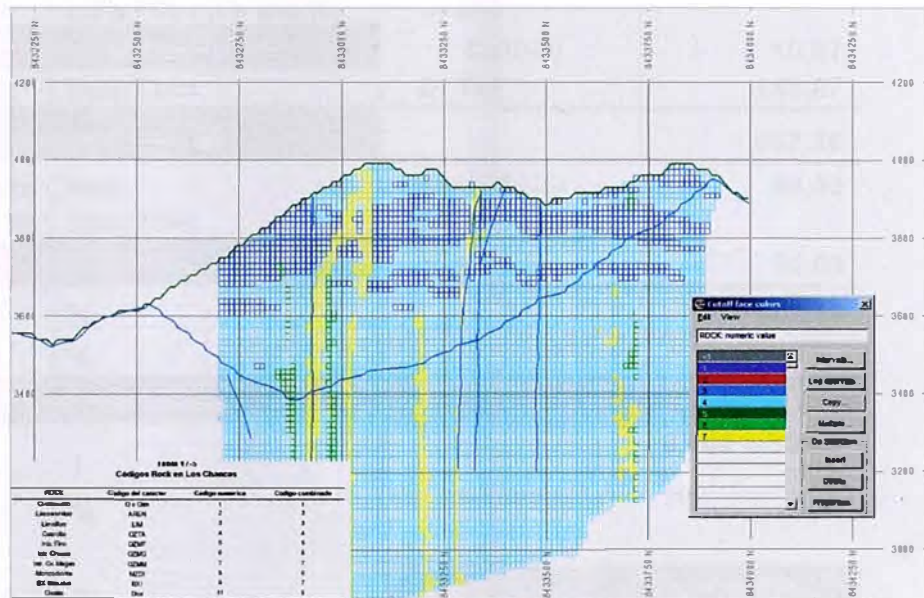
Figura 3-2
Ubicación de Facilidades



3.2.3 Ángulos de Talud

El cliente recomendó usar ángulos entre 45° y 50°, pero por tener alturas considerables, se decidió usar el ángulo de 42.5. Cabe mencionar, que previamente se realizaron sensibilidades a diferentes ángulos, viendo cómo las paredes quedarían expuestas a los tipos de rocas. En la Figura 3-3 se pueden apreciar las paredes expuestas a roca principalmente de tipo cuarcita, también se pueden ver que las fallas son verticales.

Figura 3-3
Exposición de las Paredes Finales a Tipo de Roca



3.2.4 Densidad del Material

Se considera una densidad constante de 2.5 t/m³, basado en el Reporte 1 de Geología (Capitulo 17.4.5).

3.2.5 Precios

Se está trabajando con los precios de US\$ 1.4 por libra para el cobre y US\$ 9 por libra para el molibdeno. Después de la deducción por conceptos de fundición, transporte marítimo, pérdidas y castigos, los precios llegan a US\$ 0.942 por libra y US\$ 6.678 por libra para el cobre y molibdeno, respectivamente (Ver Tabla 3-3). No se incluye recuperación de oro.

PLANO2

Tabla 3-3
Valorización de Concentrados

A. Estimado de Precio de los metales			Valor de 1 TMS de Concentrado de Cobre		US\$/TMS
Cu	1.4	US\$/Lbs	A. Pago		
Mo	9	US\$/Lbs	Cu	$(28\% \cdot .965 - 1\%) \cdot 2204.6 \cdot 1.30 / 100$	803.09
Ag	9	US\$/onz	Au	$(1.5 \cdot 0.985 - 1) \cdot 550 / 31.1$	0.00
Au	550	US\$/onz (no usado)	B. Deducciones por Tratamiento		
B. Maquila			TC	US\$ 82.5/TMS Concent	82.50
T C (1)	82.5	US\$/TMS concent	RC	$0.0825 \times 2204.6 \times 0.28 \cdot .965 / \text{TMS}$	49.14
R C (2)	0.083	US\$/Lb-Cu pagable	Castigos		
C. Flete Transporte Terrestre			As	$(0.28 - .2) \cdot 3 / 0.1$	(3) 2.40
1. De Mina a Puerto San Nicolás o San Juan			Sb	$(0.08 - 0.05) \cdot 3 / 0.1$	(4) 0.90
Costo Flete	83	US\$/TMH (no usado)	C. Deducciones por fletes		
D. Almacenaje-Manipuleo-Estiba-Puerto			Costo Operación Puerto	$10 \cdot 100 / (100 - 8)$	10.87
Costo	10	US\$/TMH	D. Total Deducciones		145.87
E. Flete Transporte Marítimo			VALOR CIF		657.28
1. De Puerto Perú a Puerto China			Flete Marítimo	$70 \cdot 100 / (100 - 8)$	76.09
Costo Flete	70	US\$/TMH	Seguro		
F. Humedad de Concentrados			E. Sub Total Deducción		76.09
Cu	8	%	VALOR FOB		581.19
Mo	8	%			
G. Contenido en los Concentrados			Valor de 1 libra de Cobre		US\$/TMS
1. Concentrado Cobre			VALOR FOB		0.942 US\$/Lb - Cu
Cu	28	%			
Ag					
Au	1.5	%	Valor de 1 TMS de concentrado de Molibdeno		US\$/TMS
As	0.28	%	A. Deducción por conversión, costos embarque y pérdidas		
Sb	0.08	%	Mo	$48\% \cdot .75 \cdot 2204.6 \cdot 9 / 100$	7142.90
2. Concentrado Molibdeno			VALOR CIF		7142.90
Mo	48	%	Flete Marítimo	$70 \cdot 100 / (100 - 8)$	76.09
H. Leyes de Seguridad			Seguro		
Cu-Cu	96.5	%	B. Sub-Total Deducción		76.09
Cu-Ag			VALOR FOB		7066.82
Cu-Au					
I. Deducción por conversión, costos embarque, pérdidas para Mo			Valor de 1 Libra de Molibdeno		US\$/TMS
Factor, %	25	(5)	VALOR FOB		6.678 US\$/Lb - Cu

(1) Treatment Charges : Ratio de tratamiento por fundición.

(2) Refining Charges: Ratio de tratamiento por refinación.

(3) Arsenic Penalty: \$ 3 por tonelada de concentrado por cada 0.1% de As Rechazado con 0.3% de As.

(4) Antimony Penalty: \$ 3 por tonelada de concentrado por cada 0.1% Sb hasta 0.15% Sb rechazado con 0.2% Sb

(5) Usar 25% de deducción para la conversión, costos de embarque y pérdidas.

3.2.6 Recuperaciones Metalúrgicas

Para determinar las recuperaciones se realizaron pruebas metalúrgicas descritas en el Capítulo 5 de este reporte, teniendo así recuperaciones por tipos de proceso y mineral, como se puede apreciar en la Tabla 3-4.

Tabla 3-4
Recuperaciones Metalúrgicas

Tipo de Mineral	Recuperación de Cobre	Recuperación de Molibdeno
Oxidado	85%	0%
Mixto 1 (óxido + sulfuros)	87%	0%
Mixto 2 (óxido + sulfuros)	84%	60%
Sulfuro secundario (enriquecido)	90%	70%
Transicional (secundario + primario)	89%	65%
Sulfuro primario	88%	65%

3.3 Tipos de Procesos

Para la obtención del cobre se desarrollan dos tipos de procesos:

- Lixiviación
 - Flotación

Por el proceso de lixiviación se obtendrán cátodos de cobre y por el proceso de flotación se obtendrán concentrados de cobre y molibdeno.

Los tipos de mineral que ingresarán a cada tipo de proceso, están en función al comportamiento del cobre a la disolución en ácido y cianuro. De acuerdo al rango se definen los procesos dependiendo de la variación entre la ley de cobre disuelto en ácido y cobre total (%CUISS/ %CUID), y cobre disuelto en cianuro y cobre total (%CUCNI/ %CUID), Tabla 3-5.

Tabla 3-5
Tipos de Proceso

Ore	Relación	Proceso
1	Default	
2	Desmonte	CUID<0.01% Cu
3	Oxidado	CUSSI/CUID>=70%
4	Mixto 1 (óxido + sulfuros)	60%<=CUSSI/CUID<70%
5	Mixto 2 (óxido + sulfuros)	33%<=CUSSI/CUID<60%
6	Sulfuro secundario (enriquecido)	CUCNI/CUID>=70%
7	Transicional (secundario + primario)	33%>=CUCNI/CUID<70%
8	Sulfuro primario	CUCNI/CUID<33%

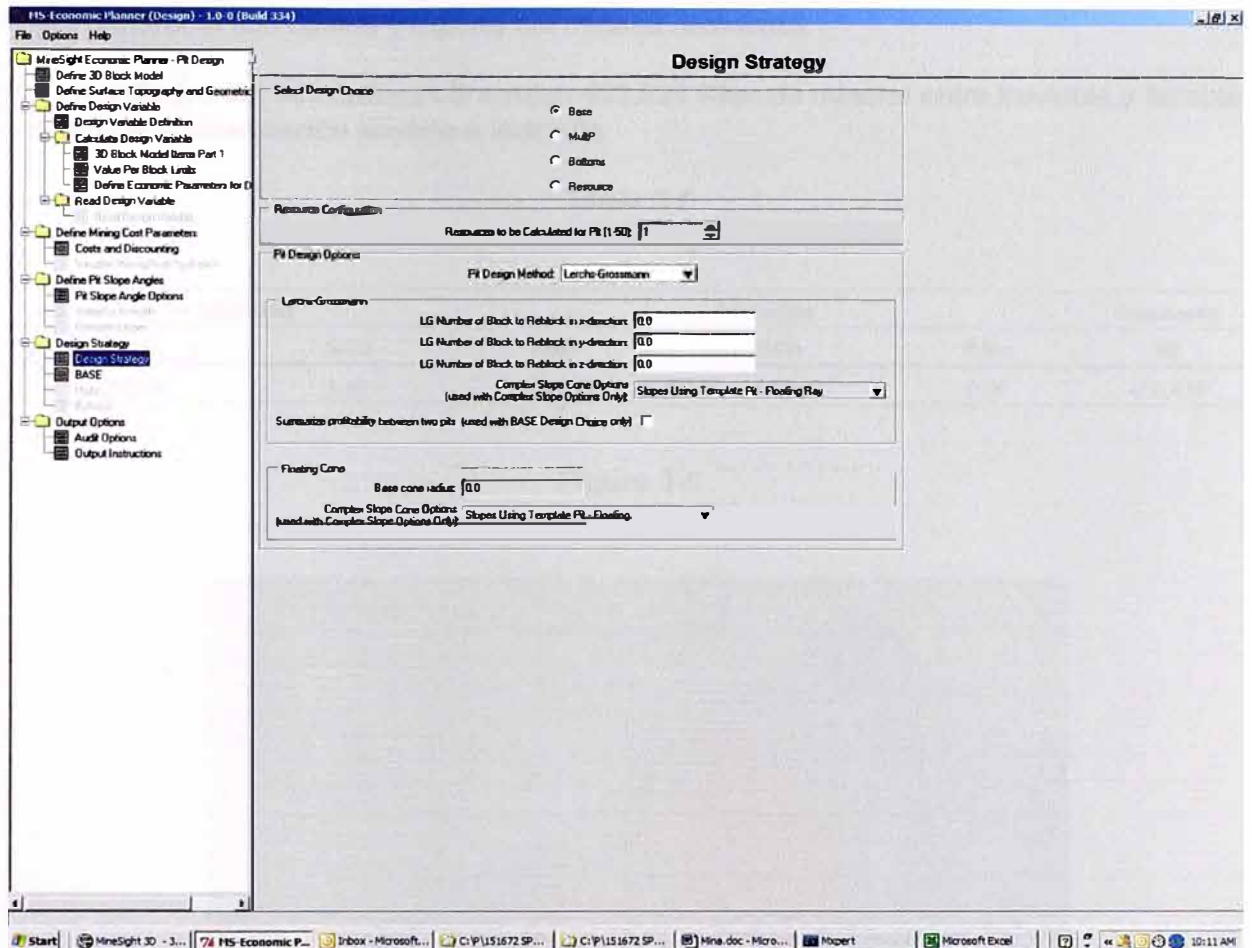
3.4 Modelo de Bloques y Generación de Tajo Económico

El modelo de bloques fue desarrollado, revisado y aprobado, con, las dimensiones de los bloques son

12.5 m x 12.5 m x 15 m (X, Y, Z), se recibió con el nombre de "chan15.mod" luego fue clonado en "chan15.amc", adicionando nuevas variables que requiere el proceso de optimización.

Para generar el pit óptimo, se utilizaron el software MineSight™MS - Economic Planner" (Figura 3-4) y el método de Lerchs-Grossman (LG).

**Figura 3-4
MineSight Economic Planner**



Para el proceso de optimización del modelo de bloques, se usaron las siguientes variables:

- Ley de cobre (CUID)
- Ley de molibdeno (MOID)
- Tipo de proceso (ORE): Clasifica los bloques de acuerdo al tipo de proceso
- Clasificación de mineral (XTRA3): Medido, indicado e inferido
- Topografía (TOPO).

Los precios de los metales, recuperaciones y densidades fueron ingresados al "MS-Economic Planner" y se consideraron únicamente las clases Medido e Indicado.

Durante el proceso de optimización se generó una variable destino “DESF”, que clasifica los bloques de acuerdo al proceso, similar a la variable “ORE” pero, esta vez se hizo un ajuste en los precios, costos, leyes y recuperaciones que posteriormente fueron usados para generar el tajo óptimo y reporte del mineral desmante.

Los resultados del tajo óptimo LG arrojan 452,921 Kton de mineral entre lixiviable y flotable dentro de la clasificación Medido e Indicado.

Tabla 3-6
Resultados del Tajo Óptimo

Lixiviación		Flotación			Desmante
Kton	%Cu	Kton	%Cu	%Mo	Kt
75,698	0.49	376,323	0.62	0.05	458,410

Figura 3-5
Resultados del Tajo Óptimo

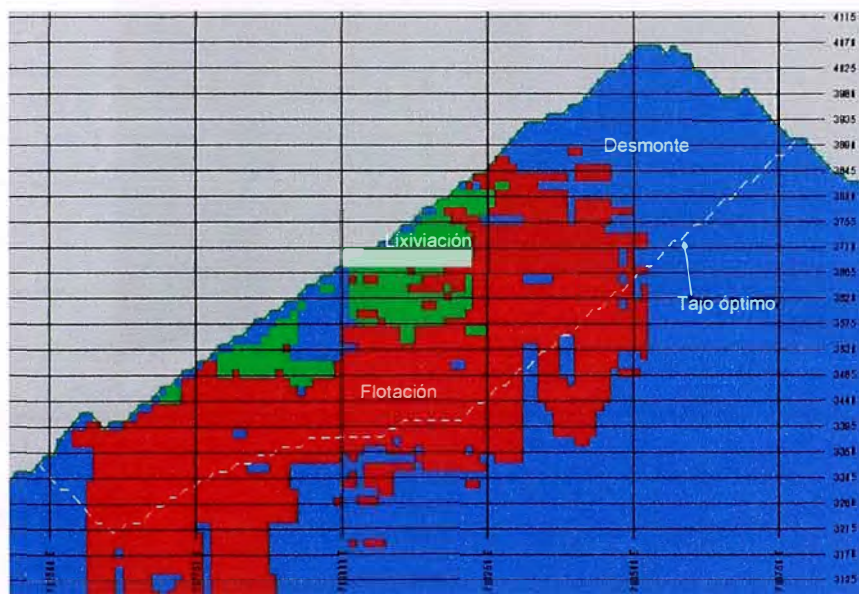
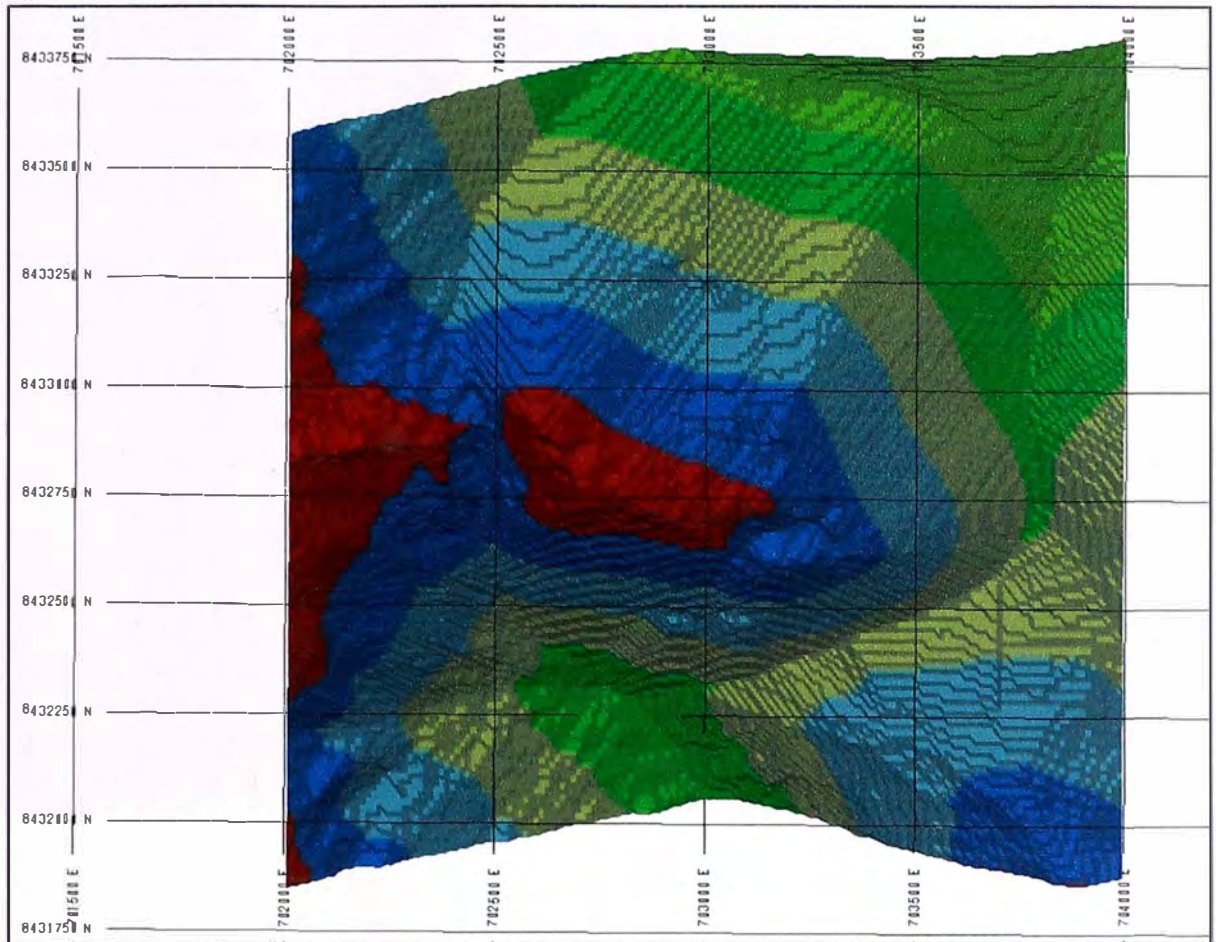


Figura 3-6
Tajo Óptimo LG Cone



3.5 Sensibilidades

Se realizaron sensibilidades a los ángulos de talud y a los precios de cobre.

El tajo es sensible a diferentes ángulos de talud, siendo en mayor proporción en el lado Este, pues a mayor ángulo el tajo se extiende, mientras que a mayor ángulo en el lado Oeste, la pared en la parte superior se comprime y en la parte inferior se extiende.

Por consiguiente los recursos varían para cada caso, siendo el más sensible el mineral para flotación. Los efectos se pueden ver en las Figuras 3-7 y 3-8 y en la Tabla 3-7.

Figura 3-7
Variación del Tajo con Ángulos de Talud

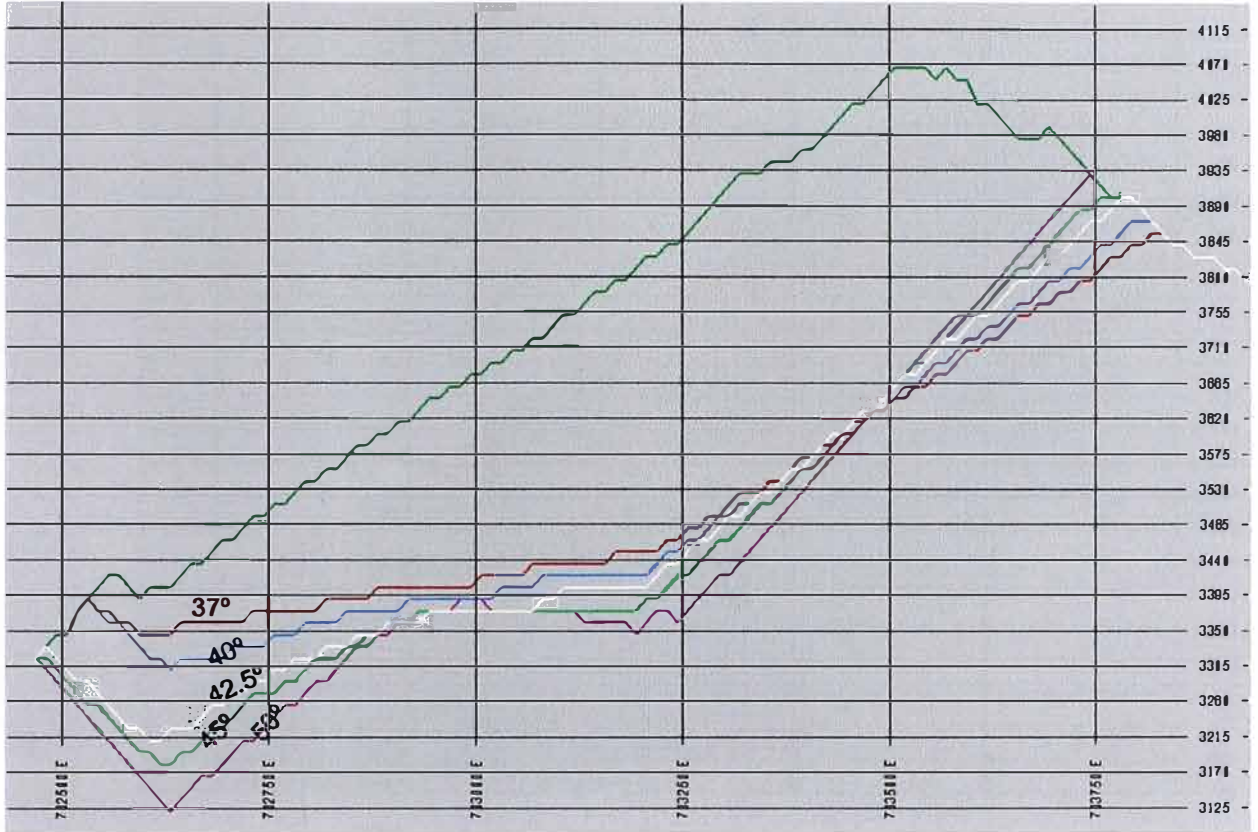


Figura 3-8
Variación del Tajo con Ángulos de Talud

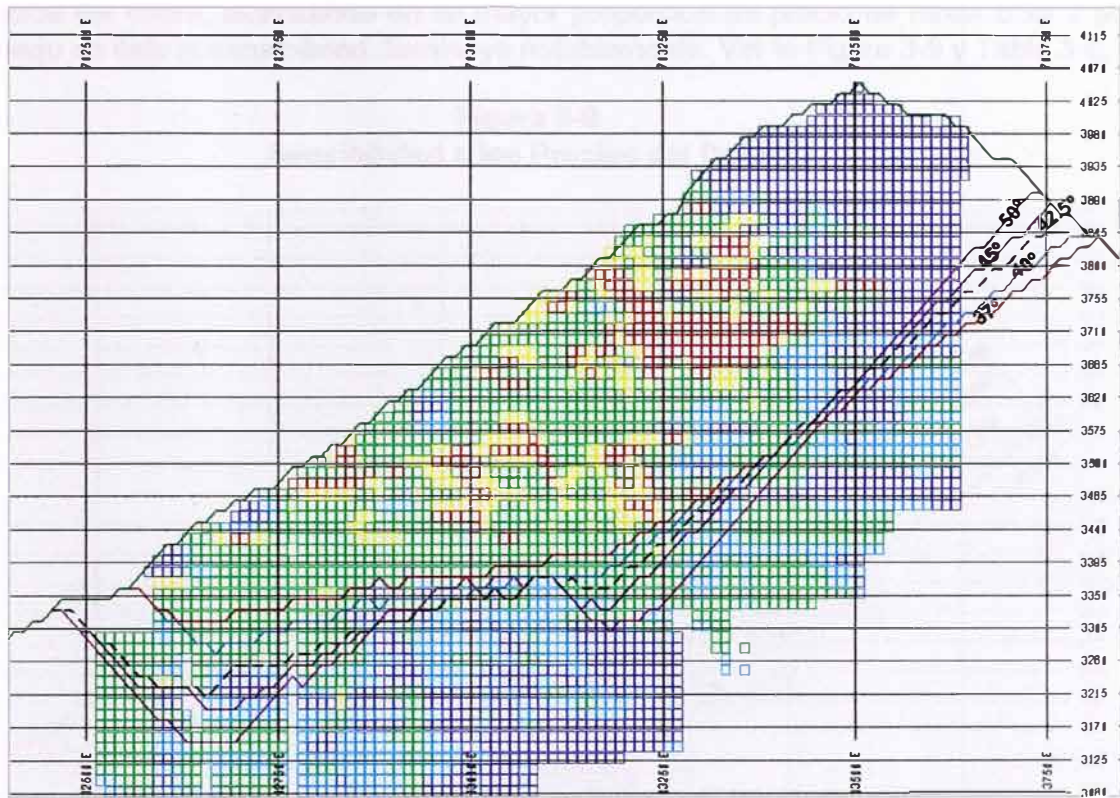


Tabla 3-7
Efectos de Variación de Recursos

Angulo (degrees)	Lixiviación		Flotación			Desmorte Kt
	Kton	%Cu	Kton	%Cu	%Mo	
37	70,615	0.50	322,757	0.66	0.05	459,965
40	72,821	0.50	341,612	0.65	0.05	443,613
42	75,698	0.49	376,323	0.62	0.05	458,410
45	76,241	0.49	394,464	0.61	0.05	450,375
50	77,635	0.48	426,684	0.60	0.05	440,613

Para la sensibilidad de precios, se ingresaron al programa diferentes montos desde US\$ 0.75 hasta US\$ 3 por libra, manteniendo constante el precio del molibdeno a US\$ 9 por libra y el ángulo de pared a 42.5°. En general el tamaño del tajo es sensible a los precios del cobre, alcanzando en su mayor proporción un precio de hasta US\$ 2 por libra, luego de éste la sensibilidad disminuye notablemente. Ver la Figura 3-9 y Tabla 3-8.

Figura 3-9
Sensibilidad a los Precios del Cobre

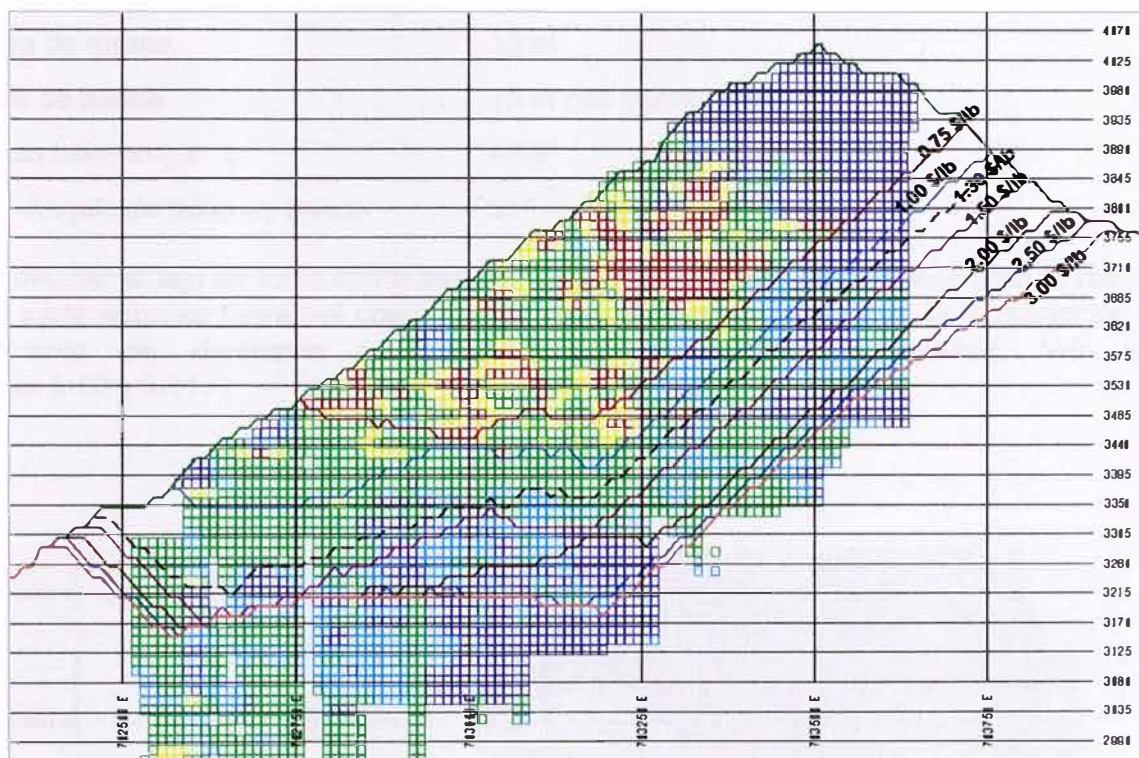


Tabla 3-8
Sensibilidad a los Precios del Cobre

Precio Cu US\$/lb	Lixiviación		Flotación			Desmorte Kt
	Kton	%Cu	Kton	%Cu	%Mo	
0.75	48,883	0.61	154,807	0.87	0.07	211,564
1.00	60,520	0.55	257,198	0.73	0.06	336,182
1.30	75,698	0.49	376,323	0.62	0.05	458,410
1.50	81,266	0.47	450,580	0.58	0.05	551,617
2.00	88,185	0.45	603,424	0.49	0.04	679,790
2.50	88,261	0.45	650,235	0.48	0.04	844,712
3.00	88,878	0.44	689,614	0.47	0.04	1,001,732

3.6 Diseño de Tajo Operativo

Sobre el tajo económico generado, se diseña el tajo operativo, que incorpora el acceso hacia el botadero, la chancadora y a todos los bancos que serían usados para la explotación del yacimiento.

Fueron usados los siguientes parámetros:

- Gradiente : 10%
- Ancho de rampa : 30 m
- Altura de banco : 15 m con banco doble
- Ángulo interrampa : 42.5°
- Ángulo de talud de banco : 65°

Para diseñar el tajo se tomó como base el cono óptimo generado. Se incorporó la rampa en la parte superior fuera del cono y en la parte baja dentro del cono, para minimizar el incremento de desmonte y mantener las cantidades de mineral. Ver las Figuras 3-10 y 3-11.

Figura 3-10
Diseño vs. LG Cone, Banco 3375

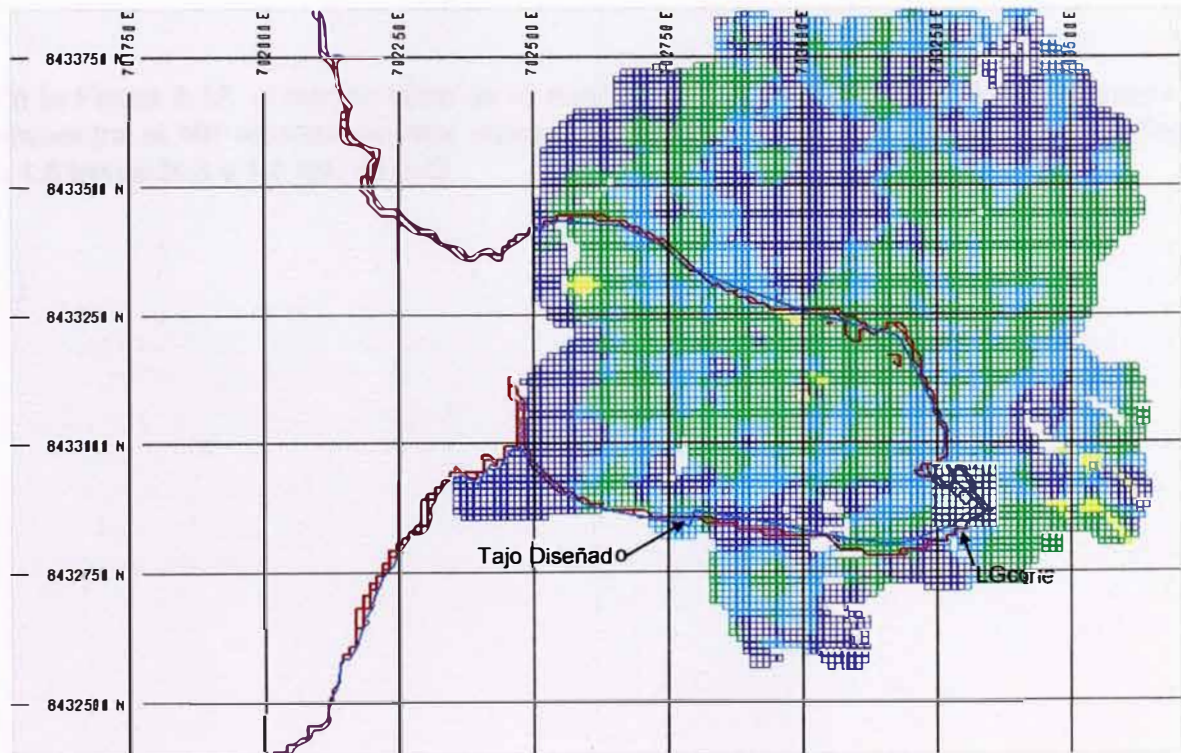
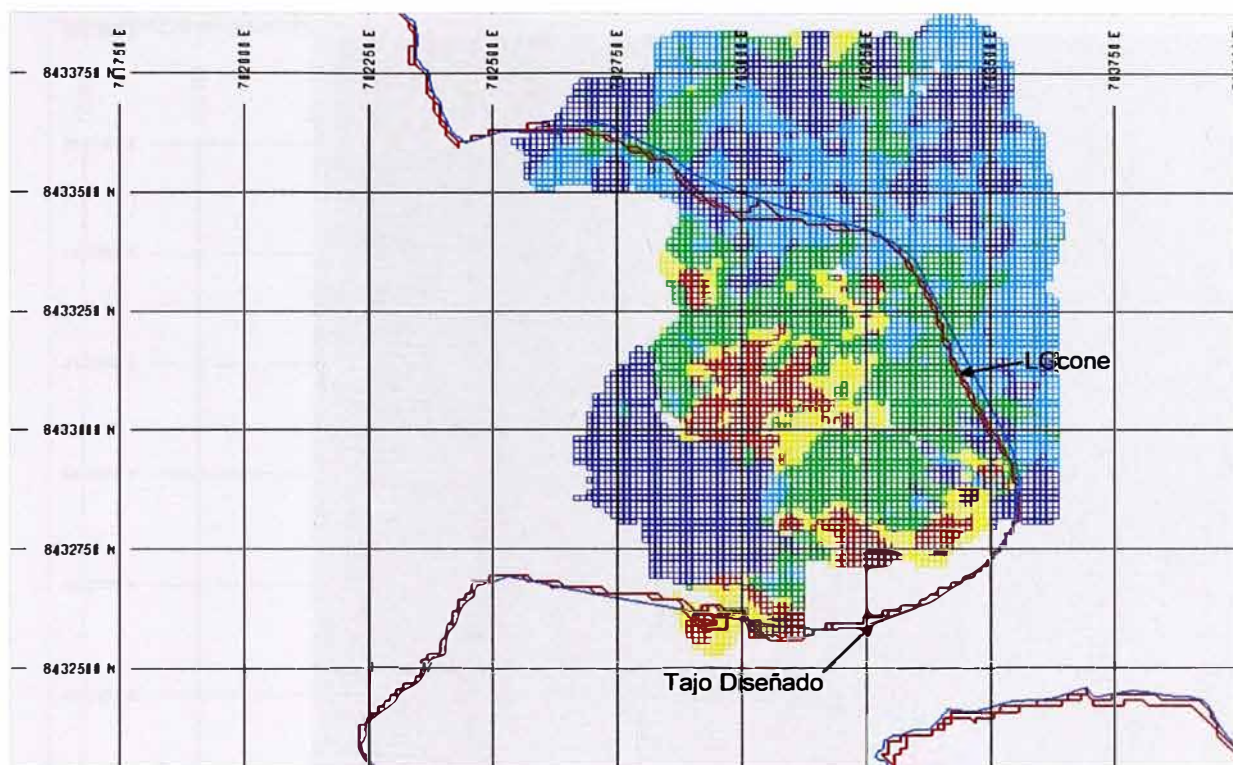
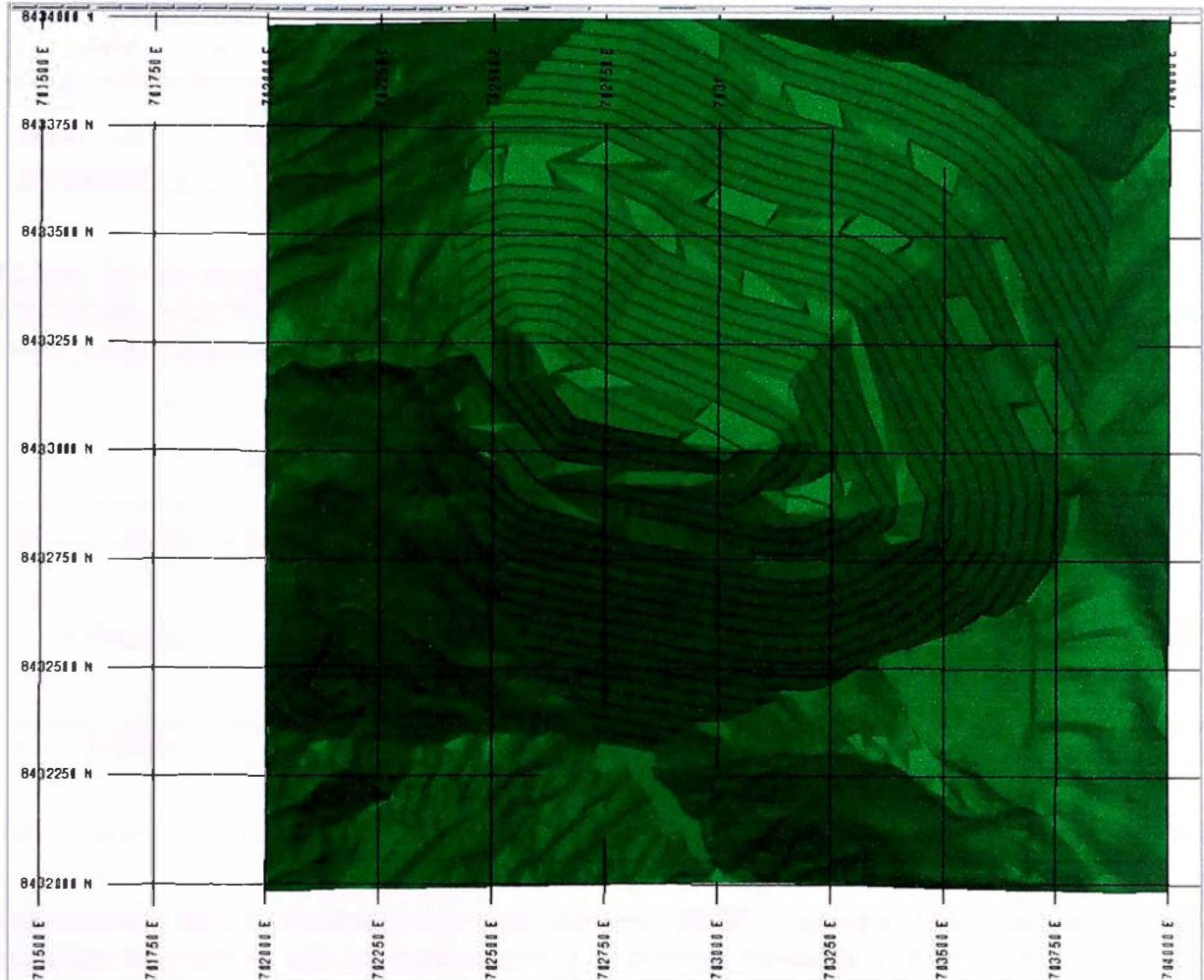


Figura 3-11
Diseño vs. LG Cone, Banco 3355



En la Figura 3-12, el tajo se inicia en el nivel 4035 hasta el nivel 3210, la altura mayor se encuentra al NE alcanzando una altura total de hasta 700 m y las dimensiones llegan a 1.6 km de N-S y 1.2 km. de E-O.

Figura 3-12
Diseño de Tajo con rampas



El desarrollo de la rampa de acceso fue llevado a cabo desde el nivel 3855 hasta el nivel inferior del tajo, en la pared de mayor altura del lado norte se realizó el sistema de rampas en switchbacks, que a la vez sirven como banquetas de estabilidad.

Los resultados del diseño arrojan: 375,259 Kt de mineral para flotación con 0.62% Cu, 0.05% Mo, mineral lixiviable 79,205 Kton con 0.48% Cu y 533,764 Kton de desmonte. Existiendo una diferencia de 4.6% en mineral de tipo lixiviación, 0.3% en mineral del tipo flotación y 16% en desmonte, comparado con el cono inicial (Tabla 3-9).

**Tabla 3-9
Resultados del Diseño**

Caso	Lixiviación		Flotación			Desmonte Kton	Total Material	S/R
	Kt	%Cu	Kt	%Cu	%Mo			
Cone	75,698	0.49	376,323	0.62	0.05	458,410	910,431	1.01
Diseño	79,205	0.48	375,259	0.62	0.05	533,764	988,228	1.17
Diferencia (%)	4.6%	-2.5%	-0.3%	-0.1%	-0.7%	16.4%	8.5%	15.8%

El total de los recursos distribuidos por tipos de mineral se pueden ver en la Tabla 3-10. Predomina el óxido en mineral para lixiviación y los tipos transicionales y primarios en mineral para flotación y encontrándose leyes altas en mineral del tipo enriquecido.

**Tabla 3-10
Total de Recursos Distribuidos por Tipos de Mineral**

		Kton	%Cu	%Mo	%Kton
Flotación	Mixto 2	41,296	0.52	0.05	11%
	Enriquecido	69,462	1.02	0.06	19%
	Transicional	131,816	0.64	0.05	35%
	Primario	132,685	0.43	0.03	35%
	Total	375,259	0.62	0.05	100%
Lixiviación	Oxido	61,473	0.46	-	78%
	Mixto 1	17,733	0.55	-	22%
	Total	79,205	0.48	-	100%

Los recursos fueron calculados sobre los destinos "DESTF", agrupan todos los bloques por cada tipo de proceso, así tenemos mineral por flotación, lixiviación y desmorte.

Sobre este dominio "DESTF" realizaremos una estadística para ver el comportamiento de leyes y revenue "REVMl".

El 23% del mineral de flotación está dentro de la clasificación MEDIDO y 77% como INDICADO, mientras que en el mineral de tipo lixiviación en 30% está dentro de la clasificación MEDIDO y el 70% como INDICADO. Ver Tabla 3-11.

Tabla 3-11
Clasificación de Recursos en Medido e Indicado

Precio Cu US\$/lb	Lixiviación		Flotación		
	Kton	%Cu	Kton	%Cu	%Mo
Medido	23,166	0.47	85,640	0.69	0.05
Indicado	56,039	0.48	289,619	0.60	0.05
Total	79,205	0.48	375,259	0.62	0.05

3.7 Flotación

- La ley promedio de cobre llega a 0.62%, con una desviación estándar de 0.26%, las leyes varían de un valor mínimo hasta un valor de 7.47%, el 50% de los recursos tienen leyes que varían desde 0.32% hasta 0,77%. Los otros 25% están debajo y encima de estos valores, respectivamente
- Para el caso del molibdeno la ley promedio llega a 0.05%, las leyes varían de un valor mínimo hasta un valor de 0.7%, el 50% de los recursos tienen leyes que varían desde 0.02% hasta 0,07%. Los otros 25% están debajo y encima de estos valores, respectivamente
- En resumen existen bloques con leyes bajas de cobre, pero con alta ley de molibdeno y viceversa.
 - En el caso del valor venta del mineral que permite una utilidad mínima de US\$ 5.65 por tonelada, vendría a ser el cut-off.

3.8 Lixiviación

- La ley promedio de cobre llega a 0.48% con una desviación estándar de 0.07%, las leyes varían de un valor mínimo de 0.15% hasta un valor de 2.35%, el 50% de los recursos tienen leyes que varían desde 0.27% hasta 0,62%. Los otros 25% están debajo y encima de estos valores, respectivamente
- El molibdeno no es recuperado por el proceso de lixiviación.
 - En el caso del valor venta que permite una utilidad mínima de US\$ 3.71 por tonelada, vendría a ser el cut-off de lixiviación.

Figura 3-13
Estadística de Recursos, Proceso de Flotación % Cu

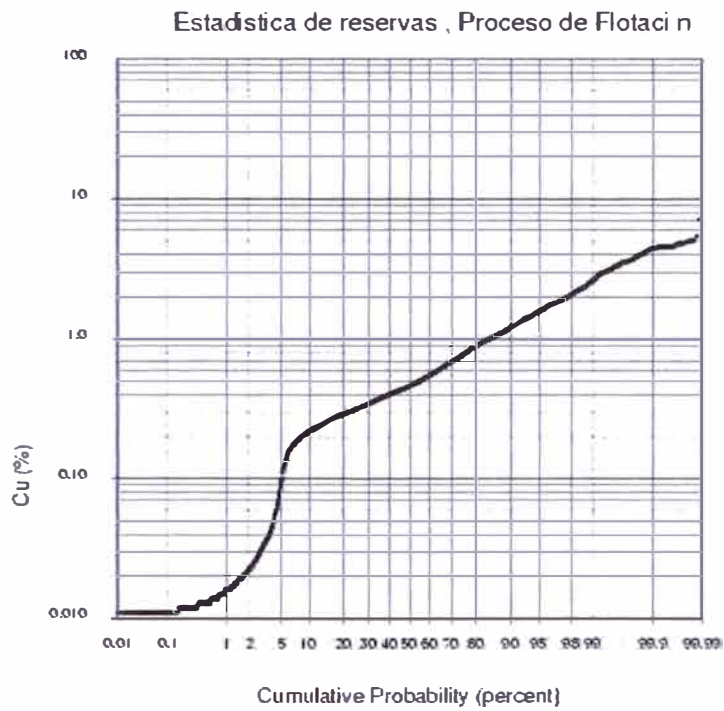
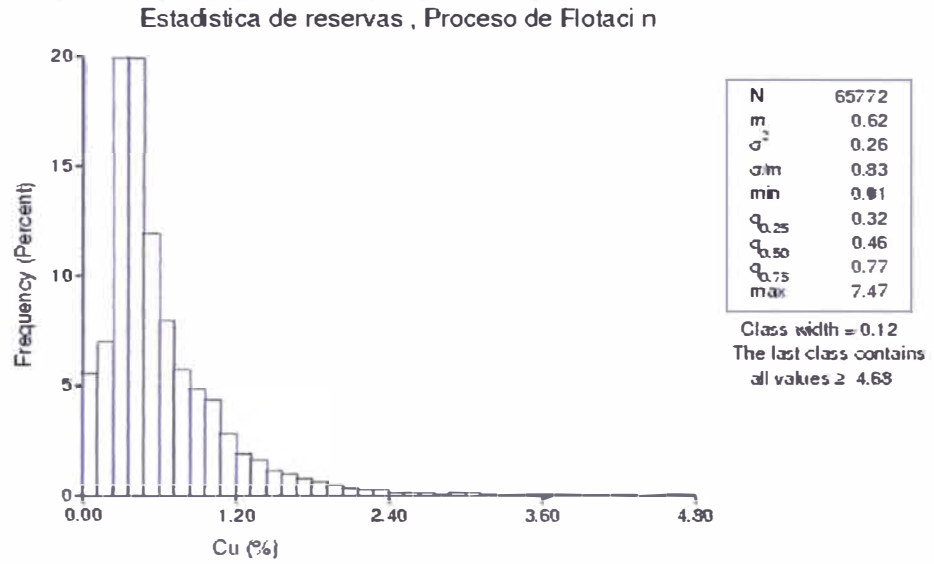


Figura 3-14
Estadística de Recursos, Proceso de Flotación %Mo

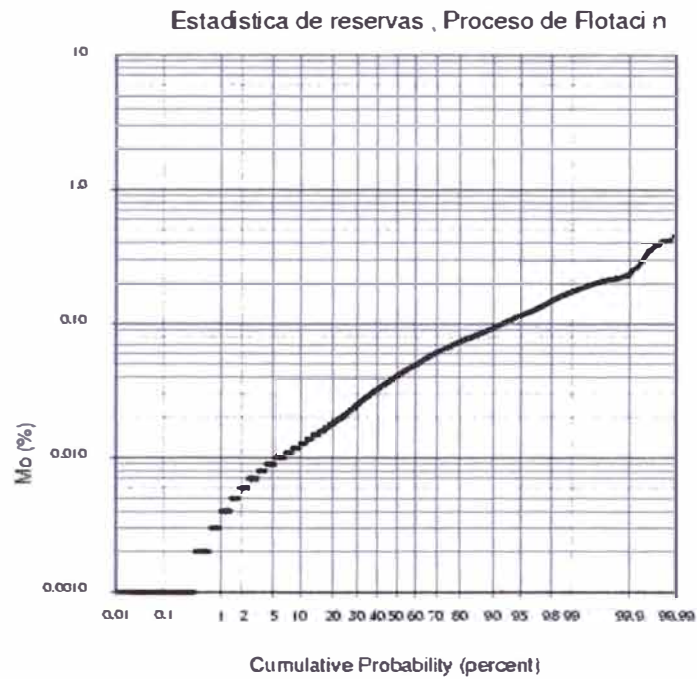
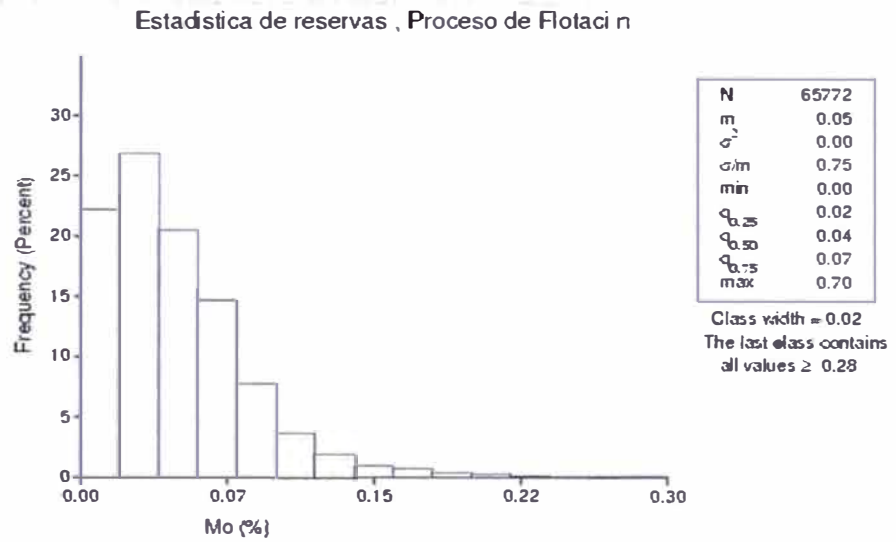


Figura 3-15
Estadística de Recursos, Proceso de Flotación Revenue

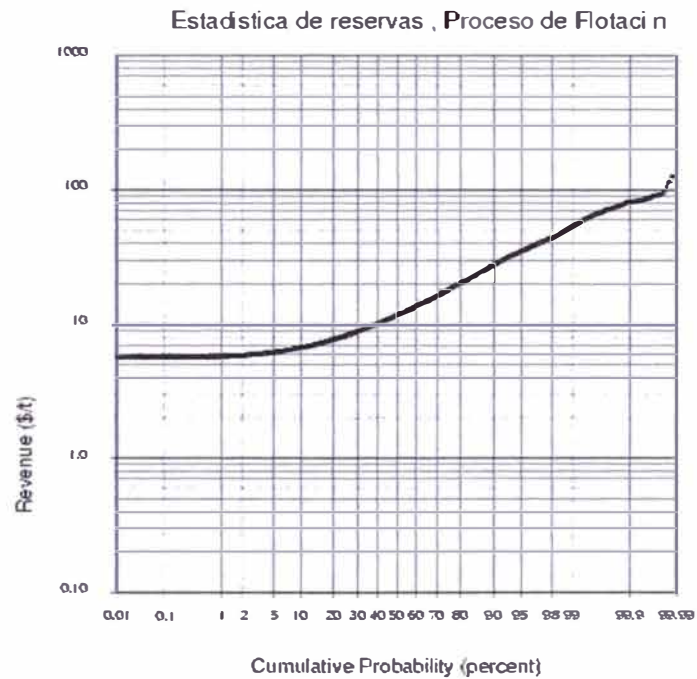
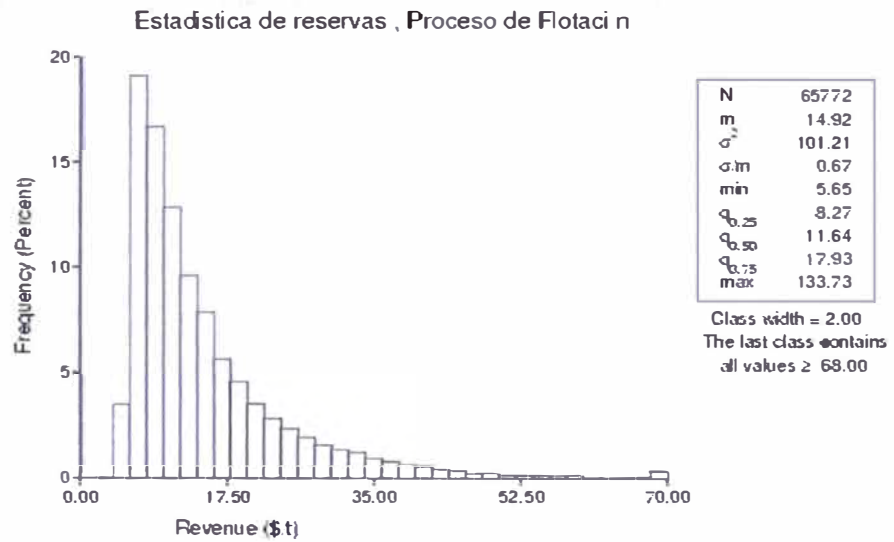


Figura 3-16
Estadística de Recursos, Proceso de Lixiviación %Cu

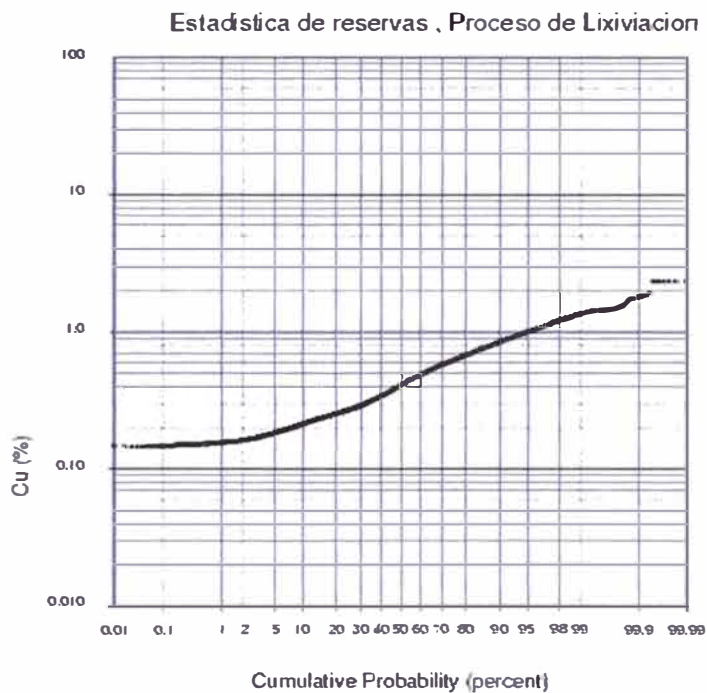
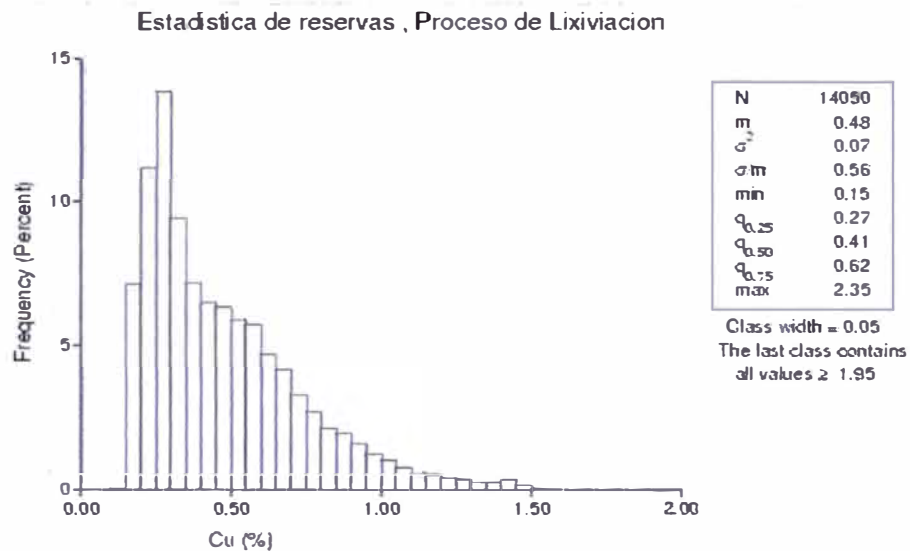
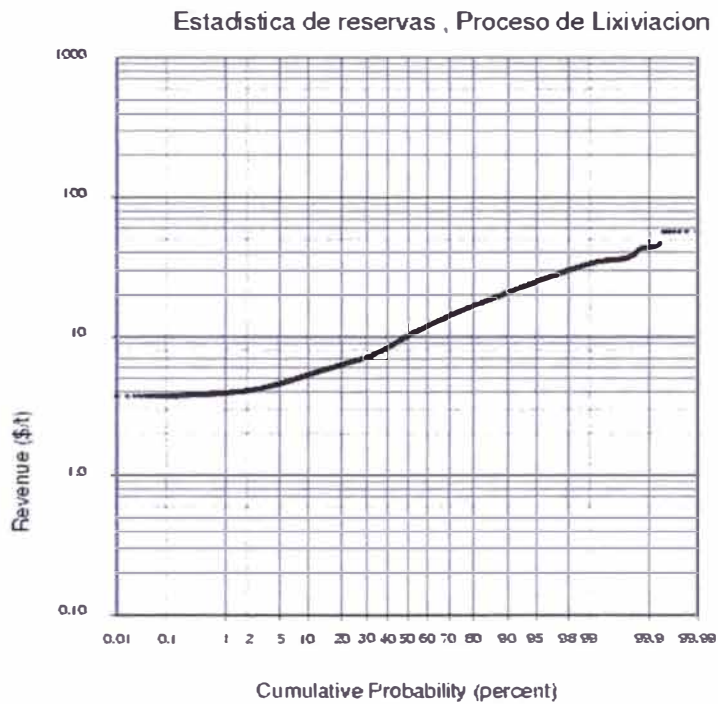
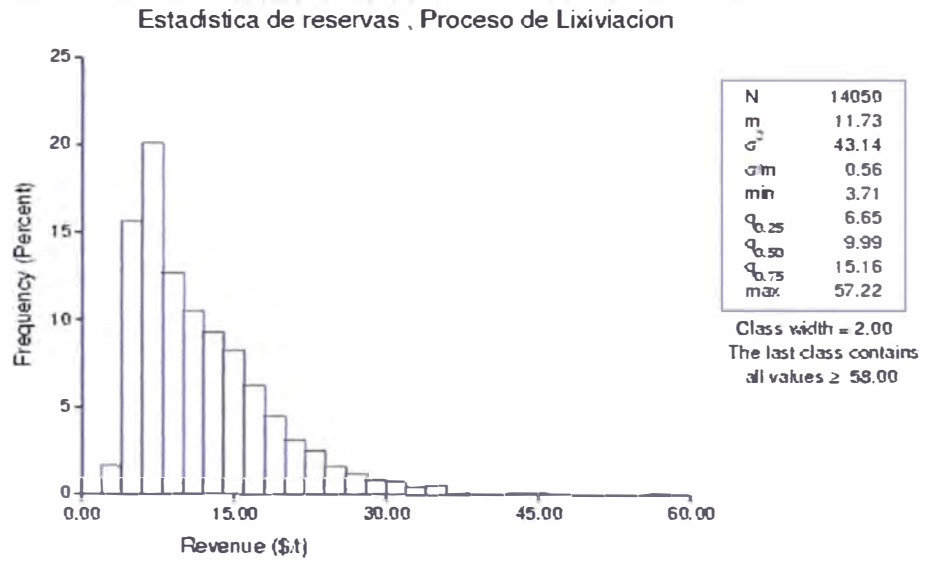


Figura 3-17
Estadística de Recursos, Proceso de Lixiviación Revenue



3.9 Plan de Minado

Para la elaboración del plan de minado, previamente se realizaron diseños de fases de minado (Figura 3-18), usando el "MS -Economic Planner"; considerando una producción total por año 40,000 Kt/año, y un ancho mínimo de operación de 100 metros.

Las leyes de cobre y molibdeno son mayores en la fase 1, las siguientes fases 2, 3 y 4, las leyes disminuyen gradualmente (Tabla 3-12).

Figura 3-18
Diseños de Fases de Minado

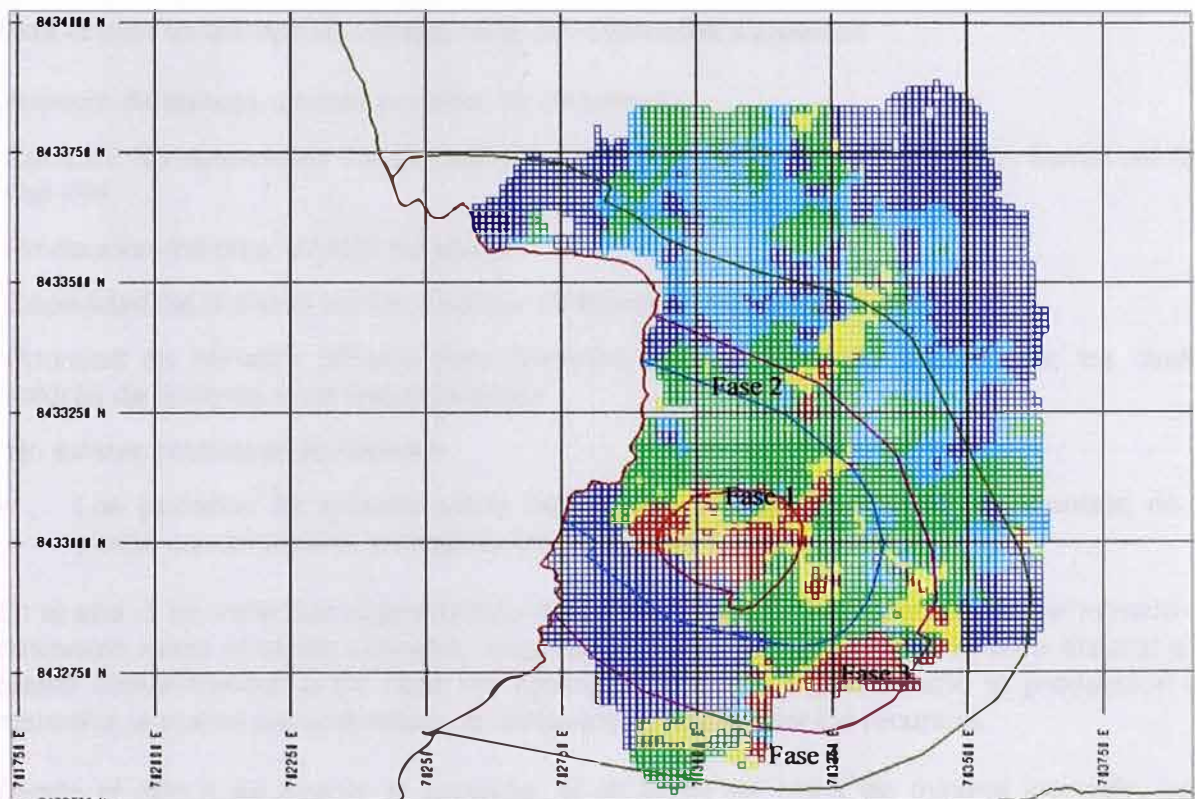


Tabla 3-12
Leyes de Cobre y Molibdeno

Fase	Mineral de Lixiviación		Mineral de Flotación		
	Kton	%Cu	Kton	%Cu	%Mo
Fase 1	21,260	0.59	45,169	0.90	0.08
Fase 2	19,213	0.53	62,926	0.84	0.07
Fase 3	13,575	0.54	84,651	0.68	0.05
Fase 4	25,157	0.31	182,512	0.45	0.03
Total	79,205	0.48	375,259	0.62	0.05

Para el plan de minado se consideraron los siguientes supuestos:

- Número de bancos a minar por año: 12 (máximo)
- Equipos: Se consideran dos (2) palas del tipo P&H 2800 y un (1) cargador frontal del tipo Cat 994
- Producción máxima: 46,000 Kton/año
- Capacidad de la planta concentradora: 40 Kton/día, 14,600 Kton/año
- Prioridad de minado: Mineral para flotación, mineral lixiviable y desmonte los cuales saldrán de acuerdo a los requerimientos
- No existen restricciones sociales
 - Los periodos de minado están de acuerdo al cronograma de construcción de la planta concentradora y preparaciones, el primer año se denomina "-1".

En el año -1 se inicia con el preminado de la fase 1, el año 0 se continua con el minado de desmonte hasta el tercer trimestre, luego en el cuarto trimestre se suministra mineral a la planta concentradora a un ritmo 40 Kton/día. Luego el siguiente año la producción de mineral a la planta concentradora es sostenida, hasta agotar los recursos.

Desde el año 4 se mueve el cargador al rehandle de stock de mineral lixiviable, para suministrar mineral al pad.

Hasta el año 9 se extrae mineral con altas leyes de cobre mayores al promedio, luego las leyes disminuyen gradualmente hasta los últimos años siendo 0.36 el mínimo, tal como se puede ver en la Tabla 3-13

El minado del desmonte se realizará en función a los requerimientos de mantener mineral del tipo flotación accesible durante toda la vida de la mina. De esta manera se decide el inicio del minado de cada fase.

PLANO3

CAPITULO IV

4.0 CONCLUSIONES

Los recursos del Proyecto llegan a 454,464 Kton distribuidos en los procesos de lixiviación y flotación, como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 4-1
Procesos de Lixiviación y Flotación

	Lixiviación		Flotación		
	Kton	%Cu	Kton	%Cu	%Mo
Medido	23,166	0.47	85,640	0.69	0.05
Indicado	56,039	0.48	289,619	0.60	0.05
Total	79,205	0.48	375,259	0.62	0.05

- El contenido metálico recuperado llega a un total de 2,396 Kton de cobre y 120 Kton de molibdeno.
- El cutt-off económico llega a 3.71 \$/t de mineral para lixiviación y 5.65 \$/t de mineral para flotación. En ley equivalente de cobre llegan en 0.2% y 0.4% para lixiviación y flotación, respectivamente.
- El tajo es sensible a los precios del cobre, teniendo alta sensibilidad hasta un precio de US\$ 2 por libra.
- También es sensible a los ángulos de talud, siendo el lado Este más sensible.
- La altura total del tajo llega hasta 700 m en el lado norte.
- La vida de la mina es de 28 años contando con el inicio del pre-minado. La operación estimada es de 25 años.

CAPITULO V

5.0 RECOMENDACIONES

- Realizar un modelo de densidades para confirmar los tonelajes.
- Se recomienda realizar un estudio geotécnico para establecer los límites de las paredes finales y confirmar los recursos.
- Continuar la exploración en el lado Este, donde la mineralización se ve cortada bruscamente.
- Elaborar perfiles de acarreo sobre los planes de minado y calcular ciclos de acarreo para estimar los costos Operativos de Acarreo. Para el siguiente estudio de Pre factibilidad.

CAPITULO VI

6.0 BIBLIOGRAFIA

<u>Autor</u>	<u>Titulo</u>	<u>Editorial</u>	<u>Año</u>
Ian C. Runge	Mining Economics and Strategic	SME	1998
Caterpillar	Manual de Rendimientos	CAT	2006
Bruce A. Kennedy	Surface Mining	SME	1989
Mintec, Inc	Manula de usuario	Mintec	2005