

Optimización de la Explotación de Vetas Angostas de Metales Auríferos mediante Mecanización.

Juan F. Navea¹, Carlos P. Bolados¹

Resumen

Se ha seleccionado un método de explotación para vetas angostas de alta ley de oro en una mina de la zona central, y se ha diseñado su extracción, considerando alta mecanización y cambio de las prácticas de extracción. Para las reservas estimadas, se seleccionaron los nuevos equipos y se calcularon los montos de inversión, ingresos, costos operacionales y la rentabilidad del proyecto. Se consideró una optimización del aprovechamiento de las reservas, aplicando el concepto de Ancho de Dilución para lograr un beneficio máximo.

Abstract

A method of exploitation for narrow veins of high golden law in a mine of the central zone of the country has been selected, and have been designed their extraction, considering high mechanization and change of the practices of extraction. For the esteemed reservations, the new equipments were selected and were calculated the amount of investment, revenue, operational costs and the profitability of the project. A best use of the ore reserves was considered, applying the concept of Width of Dilution in order to achieve a maximum benefit.

I INTRODUCCION

La planificación de la explotación de un nuevo sector de la mina Carmen debe incluir conceptos de optimización que permitan alcanzar mejores resultados operacionales, los que deben verse reflejados en el beneficio económico de la empresa. Entre los principales conceptos se consideran: definición de las reservas minables, alta mecanización, óptimo ancho de dilución (de trabajo), aprovechamiento de las reservas, mejores técnicas de extracción.

II UBICACIÓN

La mina se ubica en la V Región, sector de Petorca. El área a explotar, se encuentra entre los niveles CM 00 (1118 msnm) y CM 15 (1193 msnm) y entre las coordenadas N - 38.905 y N - 39.120 para la veta Paula y entre N - 38.860 y N - 39.114 para la veta María Isabel. El acceso principal al sector, es a través del nivel CM 00 en su primera etapa, luego,

se podrá ingresar por la rampa de acceso que se inicia en el nivel CM 00 y llega al Nivel CM 15.

III GEOLOGIA

El depósito mineral consiste en dos cuerpos vetiformes tabulares con mineralización aurífera de rumbo N - S, buzando 85 grados al W, que se hospeda en una roca intrusiva granodiorítica (ver figura 1). Tiene una profundidad estimada de 75 m, corrida reconocida de 120 m. y una potencia promedio de 1,5 a 2,5 m. El cuerpo vetiforme está formado por un relleno de cuarzo masivo de forma tabular, cuyo emplazamiento está controlado por una falla de orientación similar, dispuesta en el bloque yacente. La mineralización se compone de pirita y arsenopirita, con calcopirita subordinada muy escasa; en la zona de oxidación se presentan abundantes limonitas, producto de su descomposición. La mena piritosa ocurre como guía y diseminaciones finas en el venero de cuarzo, constituyendo este último el

Palabras Claves: Minas, Explotación, Vetas, Mecanización

¹ Departamento de Ingeniería de Minas, Facultad de Ingeniería, Universidad de Atacama, Copayapu 485, Copiapó.

e:mail: jnavea@plata.uda.cl ; pbolados@plata.uda.cl

mineral de ganga principal. El muestreo de los sectores accesibles indica valores de oro entre 1 y 8 gr/ton, siendo la ley promedio ponderada 6 gr/ton de Au.

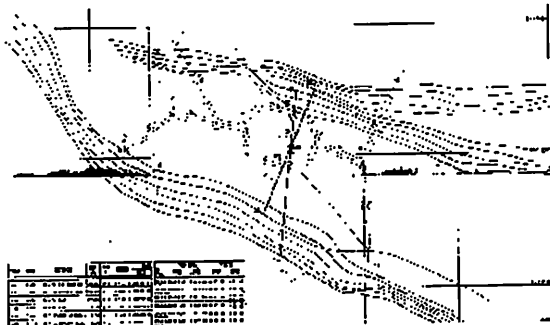


Fig 1. Planta vetas María Isabel y Paula

IV RESERVAS

4.1 Recursos geológicos

Estos se distribuyen de la siguiente forma:

Tabla 1. Recursos geológicos

CASERON	409/N	409/S	408/S	408/C	TOTAL
Recursos (ton)	7.373	10.999	10.767	37.018	66.157
Ley Au (gr/t)	8,11	6,23	7,75	15,56	11,91
Ley Ag (gr/t)	14,72	10,4	18,89	29,68	
Potenc veta (m)	0,47	0,50	0,95	0,89	

4.2 Reservas minables

Las reservas minables se calcularon considerando un ancho de dilución óptimo de 1 m, con una ley de 0,2 gr/ton de Au para el material adyacente a las vetas.

Tabla 2. Reservas minables

CASERON	409/N	409/S	408/S	408/C	TOTAL
Reservas (ton)	7.373	10.999	12.908	46.660	77.940
Ley Au (gr/t)	8,11	6,23	6,51	12,42	10,16
Ley Ag (gr/t)	14,72	10,4	15,75	23,56	
Potenc veta (m)	0,47	0,5	1,08	1,05	

4.3 Cubicación de levantes

Se planificó los levantes de cada caserón, calculando sus dimensiones y cubicación para apoyar el plan de corto plazo. Se muestra a modo de ejemplo la planificación del caserón CM 00.409/N

Tabla 3 Planificación caserón CM 00. 409/N

Leyes Mes	Pot Alt. (m)	Longitud Prod (ton)	Au (Gr/ton)	Au Equiv. (Gr/ton)	Cám. (m)	Miner (m)	
1	3	612,4	6,28	6,64	1	108	72
2	3	612,4	6,28	6,64	1	108	72
3	3	612,4	6,28	6,64	1	108	72
4	3	612,4	6,28	6,64	1	108	72
5	3	612,4	8,28	6,64	1	108	72
6	3	612,4	6,28	6,64	1	108	72
7	3	612,4	6,28	8,64	1	108	72
8	3	612,4	6,28	8,64	1	108	72
9	3	390,1	4,78	5,10	1	108	46
10	3	374,2	4,61	4,92	1	108	44
11	3	374,2	4,61	4,92	1	108	44
12	3	374,2	4,61	4,92	1	108	44
13	3	374,2	4,61	4,92	1	108	44
14	3	374,2	4,61	4,92	1	108	44
15	3	374,2	4,61	4,92	1	108	44
16	3	374,2	4,61	4,92	1	108	44
17	3	62,4	4,81	4,92	1	108	44
TOTAL		7.971,1	5,64	5,99	1	108	61,31

Las reservas planificadas del proyecto se distribuyen como sigue:

Tabla 4. Reservas del proyecto

RESUMEN CUADRO DE RESERVAS GEOLOGICAS MINABLES				
	Ton	Gr/ton	Ton	Gr/ton
CM 00.408/S	10.787	7,75	12.908	6,51
CM 00.409/S	10.999	6,23	10.999	6,23
CM 00.408/C	37.018	15,56	46.680	12,42
CM 00.409/N	7.373	8,11	7.373	8,11
Total reservas	66.157	11,91	77.940	10,16
Finos (Kg/Au)		787,76		791,87

V SISTEMA DE EXPLOTACION

5.1 Método de explotación empleado

El método de explotación seleccionado para las vetas María Isabel y Paula, es el de "Corte y Relleno" en su variante Rampa Batiente (ver figura 2), utilizando Scoop para el carguío y transporte de mineral, como también para el movimiento de relleno en el interior de la cámara. Los accesos a la cámaras, serán mediante las rampas batientes, las que nacerán desde la Rampa Principal de Acceso.

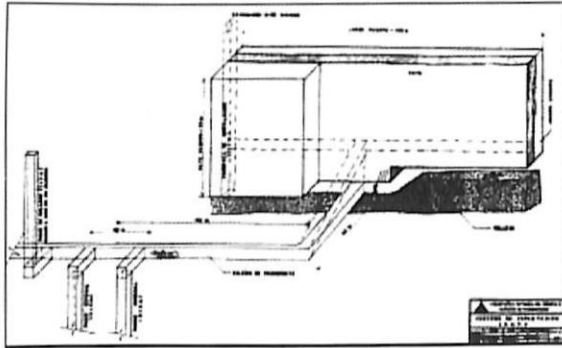


Fig 2. Método de explotación Mina Carmen

La selección del método de explotación ha sido adoptado considerando los siguientes criterios generales:

- Ritmo de producción de 300 ton/mes
- Largo de la cámara de 100 m. como promedio, constituye una distancia adecuada para la operación del equipo Scoop, tanto en la fase de producción como de relleno.
- Una rampa como concepto de acceso a las batientes de ingreso a las vetas para una altura de cámara de 75 m, resuelve económicamente la extracción del mineral allí contenido.

Las características geométricas del caserón son:

Largo caserón	60a 100 m
Ancho caserón	2,5 m
Alto caserón	30 a 40 m
Distancia al pique de mineral	150 m
Distancia al pique de relleno	150 m
Distancia a la chimenea de ventilación	0-5 m

Los criterios de diseño del método Corte y Relleno consideran los siguientes parámetros:

Zona mineral	
tiros por corrida	3
burden	0,7 m
tiros de precorte	1
alto tajada explotación	1,8 m
ancho tajada explotación	0,9 a 1,6 m
largo tajada explotación	30 a 40 m
inclinación tiros	70 gds
Zona estéril	
tiros por corrida	2
burden	0,8 m
tiros de precorte	0
alto tajada explotación	1,8 m
ancho tajada explotación	2,5 m
largo tajada explotación	30 a 40 m
inclinación tiros	70 gds
Rampa batiente	
tiros por corrida	2
burden	0,8 m
tiros de precorte	0
alto tajada explotación	1 m
ancho tajada explotación	2,5 m
largo tajada explotación	30 a 40 m
inclinación tiros	70 gds

5.2 Modernización de la explotación

Básicamente se han aplicado dos conceptos de modernización en este proyecto:

- cambio del equipamiento utilizado anteriormente, logrando con ello reducir las dimensiones de trabajo de las galerías de desarrollo y explotación, a través de la aplicación del concepto de Ancho de Dilución óptimo para alcanzar un beneficio máximo, y
- cambio en la disposición de la veta al momento de la explotación. Anteriormente se ubicaba al centro de la cámara, explotándola conjuntamente con el estéril que la encaja. El diseño actual considera dejar la veta a un costado de la cámara, para realizar una explotación selectiva (ver figura 3).

5.3 Secuencia de explotación

Secuencia N ° 0

Representa el estado inicial de la cámara junto a sus galerías de accesos, piques de relleno y producción. (Ver figura 4 planta de detalles correspondientes a CM 00).

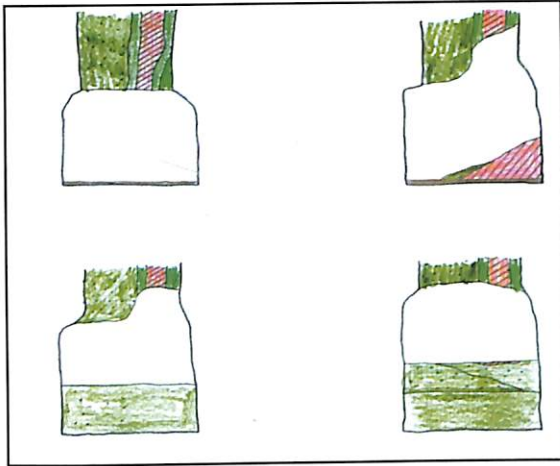


Fig 3. Técnica actual de explotación de vetas

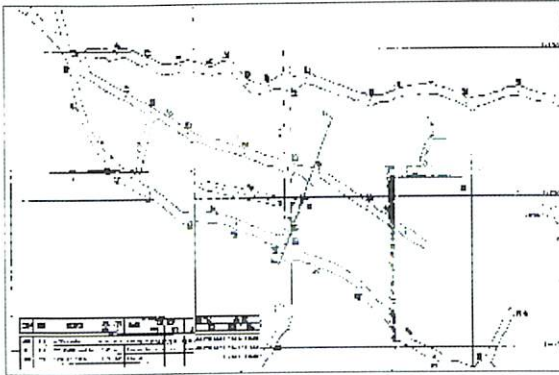


Fig 4. Nivel base CM.00

Secuencia N ° 1

Esta secuencia representa el inicio de la explotación de las cámaras, para ello se deberá extraer mineral correspondiente a dos levantes (1,5 m/lev) en cada cámara. Luego de extraído todo el mineral, se procederá a la etapa de relleno de las cámaras, hasta conseguir una altura de 2,5 m, entre el piso del relleno y el nuevo techo de la galería

Secuencia N ° 2

Esta secuencia representa el segundo mes de explotación de la cámara, para ello se deberá extraer mineral correspondiente a dos levantes (1,5 m/lev). Este mineral se evacuará por la batiente hasta el pique de producción localizado en el Centro de la Rampa de Acceso Principal. El mineral llegara al nivel CM 00, el que será trasladado con Scoop de 1,5 Yd³. Luego de extraído todo el mineral, se procederá a la etapa de relleno de la cámara, hasta conseguir una altura de 2,5 m, entre el piso del relleno y el nuevo techo de la galería. Este relleno será ingresado por las batientes de cada cámara.

Secuencia N ° 3

Esta secuencia representa los distintos meses de explotación de la cámara, para ello se deberá extraer mineral correspondiente a dos levantes (1,5 m/lev). Este mineral se evacuará por el pique de producción, llegando a la galería CM 00, desde donde será trasladado con Scoop de 1,5 Yd³. Luego de extraído todo el mineral, se procederá a la etapa de relleno de la cámara, hasta conseguir una altura de 2,5 m, entre el piso del relleno y el nuevo techo de la galería.

Se destaca que todos los servicios generales, deberán ser ingresados desde la Rampa de Acceso Principal hacia las batientes y luego al interior de cada cámara.

5.4 Galerías de desarrollo y preparación

La disposición general del proyecto, ha quedado definida en atención a los siguientes aspectos:

- Infraestructura existente en el área a explotar (Nivel Carmen 00)
- Labores de reconocimiento desarrolladas en la veta (Nivel Carmen 15)

Los accesos a la veta se harán a través del Nivel CM 00 mediante la Rampa de Acceso Principal.

El total de labores mineras definidas en asociación con la disposición general establecida para el proyecto se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5. Requerimientos de laboreos

GALERIAS DE DESARROLLO Y PREPARACION	
	TOTAL (m)
SUB-TOTAL GALERIAS	2.342
SUB-TOTAL CHIMENEAS	294
GRAN TOTAL (m)	2.636

5.5 Perforación y extracción de mineral

Perforación

La perforación de producción se realizará con jumbo electrohidráulico modelo H-104 Atlas Copco, en reemplazo del modelo H - 126. Se usarán barras de 2,0 metros de largo, para una perforación real de 1,8 m. El diámetro de la perforación será de 38 mm. Los tiros serán paralelos entre sí, con un ángulo de botada de 70 grados y una inclinación de acuerdo al manto de la veta. Se estima alcanzar cortes reales de 1,5 m de altura.

Se propone una malla de perforación de 3 tiros por corrida en la veta, con un burden de 0,70 m. Para el estéril se considera 2 tiros por corrida y un burden de 0,80 m.

Extracción

Para la extracción del mineral desde los caserones, se usará un equipo LHD marca TORO modelo 151 D, con capacidad de 2.500 kg.

Relleno de estéril

El relleno de estéril que se proveerá a las cámaras, tendrá como principal fuente de abastecimiento material generado de las marinas que se extraerán de los desarrollos, tales como Rampa de Acceso Principal, construcción de las batientes y roca de caja de los caserones. La distancia media de recorrido del equipo Scoop para el transporte de relleno hacia las cámaras es alrededor de 150 m.

El relleno en la cámara se colocará con el equipo Scoop de 1,5 yd³, vale decir, se usará el mismo equipo que lleva el mineral al pique de traspaso. Cabe destacar que dada la gran cantidad de relleno disponible en el sector, no se hace necesario la construcción de un pique para tal efecto. Las tablas siguientes

muestran los requerimientos de relleno y su correspondiente abastecimiento.

Tabla 6. Requerimientos de relleno

CAMARA	VOL (m ³)	REQUERINTO. (ton)
CM00.408S	15.300	24.480
CM00.409S	11.400	18.240
CM00.408C	24.360	38.976
CM00.409N	16.800	26.880
TOTAL	67.860	108.576

Tabla 7. Abastecimiento de relleno

SECTOR	LARGO ALTO ANCHO			VOL (m ³)	ABASTINTO (ton)
	(m)	(m)	(m)		
RAMPA	672	3	3	6.048	9.677
CAJAS					
CM00.409N	85	75	1,4	8.925	14.280
CM00.409s	95	50	1,4	6.650	10.640
CM00.408C	145	70	1,4	14.210	22.736
CM00.409N	100	70	1,4	9.800	15.680
ACC. BAT.	1062	2,6	2,6	7.179	11.487
BATIENTES	385	2,6	18	18.018	28.829
TOTAL				70.830	113.328

5.6 Servicios generales

Las redes matrices de los servicios de aire comprimido, agua industrial y energía eléctrica, provienen de sectores actualmente en producción de la mina. Los consumos estimados de agua industrial son del orden de 0,9 m³/hr de agua (1 Jumbo H-104). Para el aire comprimido se ha estimado un consumo de 300 cfm (2 perforadoras livianas). En cuanto a energía eléctrica los consumos serán del orden de 35 KW (1 ventilador).

VI ANALISIS ECONOMICO

6.1 Estimación de inversiones

Las inversiones necesarias para la construcción del proyecto se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 8. Inversiones para el proyecto

COD DESCRIPC.	SECCION LONG		COSTO	TOTAL
	(mxm)	(m)		
1GALERIAS				
RAMPA PRINC.	3,0x3,0	655	457	299.335
ACC. BAT. 409/N	2,0x2,5	65	435	26.275
BATIENTE 409/N	2,0x2,5	159	435	69.165
ACC. BAT. 408/C	2,0x2,5	352	435	53.120
BATIENTE 408/C	2,0x2,5	210	435	91.350
ACC. BAT. 409/S	2,0x2,5	94	435	40.890
BATIENTE 409/S	2,0x2,5	179	435	77.865
ESTOC./N PIQUE	2,0x2,5	75	435	32.625
ESTOC./S PIQUE	2,0x2,5	141	435	61.335
ACC. BAT. 408/8	2,0x2,5	180	435	78.300
BATIENTE 408/8	2,0x2,5	67	435	72.645
EST. PIQUE MIN	3,0x3,0	8	457	3.656
EST. CH. CM15.4181	2,0x2,5	26	435	11.310
EST. CH. CM00.4183	2,0x2,5	5	435	2.175
EST. CH. CM15.4183	2,0x2,5	13	435	5.655
EST. CH. CM00.4184	2,0x2,5	8	435	3.480
EST. CH. CM15.4184	2,0x2,5	5	435	2.175
SUB-TOTAL GALERIAS	2.342			1.031.181
2CHIMENEAS				
PIQUE PRODUC	2,0x2,0	75	399	29.925
CH. VENT. 4181	2,0x2,0	79	399	31.521
CH. VENT. 4183	2,0x2,0	68	399	27.132
CH. VENT. 4184	2,0x2,0	72	399	28.728
SUB-TOTAL CHIMENEAS	294			117.306
SUB-TOTAL LABORES				1.282.462
3TRABAJOS ESPECIALES				
INST. RED DE AGUA Y AIRE	GL.			4.500
INST. RED ELEC. Y VENT.	GL.			2.500
SUB-TOTAL T. ESPECIALES				7.000
4EQUIPOS				
VENTILADOR 50 HP	1			14.000
JUMBO H-104	1			160.000
SUB-TOTAL EQUIPOS				174.000
GRAN TOTAL				1.463.462

6.2 Estimación de ingresos

El período de evaluación del proyecto es de 26 meses.

Precio del oro (Jul 95)	300	US\$/oz
Gramos de oro	791.870	gr
Recuperación metalúrgica	0,92	%

Ingresos esperados	7.015.204	US\$
---------------------------	------------------	-------------

6.3 Costos de producción

	Ton	Costo unit. (US\$/ton)	Total (US\$)
Costo mina	77.940	28	2.182.320
Costo planta	77.940	6	467.640
Costo fund. y ref,			2.204.747
Total costos			4.853.707

6.4 Indicadores de rentabilidad

Estos son

VAN (15%)	=	2.212.720 US\$
TIR	=	25,70 %
IVAN	=	1,51

CONCLUSION

Se ha determinado la factibilidad técnica y económica de modernizar la explotación de las vetas María Isabel y Paula, mediante la aplicación de un método de explotación mecanizado, altamente selectivo y definiendo un ancho de trabajo (Ancho de Dilución) que maximiza el beneficio económico. Se establece que mediante una mecanización adecuada al tamaño de la mina y aplicando conceptos técnicos de optimización, se obtienen mejores resultados económicos para la explotación.

REFERENCIAS

Navea, J. F. , 1997, «Determinación del tamaño óptimo de producción de una mina subterránea», 5tas. Jornadas Argentinas de Ingeniería de Minas, San Juan Argentina, septiembre de 1997.

Navea J. F. et al, «Planificación a corto plazo en la mediana y pequeña minería subterránea asistida

por computador», Seminario de Minería, Universidad de Atacama, 1997

Bolados C. P et al., «Proyecto de explotación Mina Carmen, V Región, Chile», Compañía Minera Bronce.

Navea, J. F., et al. 2000, «Modelo de Ancho de Dilución óptimo para vetas», Universidad de Atacama.
