

DIMENSIONAMIENTO DE MALLAS DE EXTRACCION, BATEAS RECOLECTORAS Y PILAR CORONA PARA METODO PANEL CAVING EN ROCA PRIMARIA, MINA EL TENIENTE

Autores: Patricio Cavieres, Superintendencia Geomecánica, Codelco - El Teniente
Eduardo Contreras, Departamento de Ingeniería en Minas, Universidad de Santiago
Juan Carlos Arce, Ingeniero Geomecánico Consorcio CIMM & INGEROC

Importancia del Trabajo

La determinación del diseño de las Mallas de Extracción, hasta ahora se hace en base a la experiencia adquirida en otros sectores productivos y con la asesoría de consultores expertos en la materia. De esta forma queda en evidencia la necesidad de contar con una metodología de diseño integral, que ayude a simplificar esta tarea y la cual permita un mejor aprovechamiento de los recursos humanos y económicos, destinados al diseño de las Mallas de Extracción para Panel Caving.

Objetivos del Estudio

- Determinación de las distancias entre Puntos de Extracción (2D).
- Determinación de la distancia entre los Niveles de Producción y Hundimiento (3D).
- Creación de una metodología que permita mejorar el diseño minero de las Mallas de Extracción, para el método Panel Caving y sus variantes, específicamente en roca primaria.
- Creación de una herramienta de apoyo a través de un documento, que sirva de guía para futuros estudios, referentes al diseño de Mallas de Extracción.

Metodología de Trabajo

Primeramente se realiza una descripción acabada de las teorías de flujo gravitacional, destacando su base teórica, donde se busca una relación entre la calidad del macizo rocoso y el diámetro del Elipsoide de Extracción.

Elaboración de una metodología para determinar el diámetro del elipsoide de la roca primaria, asociado a un sector cualquiera de la mina. El diámetro del elipsoide es la base para el diseño y dimensionamiento de las Mallas de Extracción en el método Panel Caving y sus variantes.

Determinado el diámetro del elipsoide, se selecciona la mejor configuración de elipsoides, mediante el estudio y evaluación de las diversas distribuciones geométricas de elipsoides que existen.

Diseño minero de la Malla de Extracción teórica, en donde a la distribución de elipsoides seleccionada se le incorpora el trazado de las calles de producción y galerías zanjadas, esto origina el concepto de "Malla de Extracción". El dimensionamiento de la Malla de Extracción queda definido con: la distancia entre calles perpendicular a las calles, la distancia entre zanjadas paralela a las calles y el ángulo calle/zanja. Determinado el diseño de la Malla de Extracción a utilizar, se realiza el proceso de Operativización, el cual consiste en rediseñar la Malla de Extracción, considerando la geometría del equipo LHD a utilizar. Hasta este punto se tiene definida la Malla de Extracción en un plano 2D.

Incorporación de la tercera dimensión a la Malla de Extracción, mediante el estudio de perfiles verticales. Las labores que definen la sección vertical de la Malla de Extracción son: la Batea y el Crown Pillar (Pilar Corona), cuyos diseños actuales deben ser analizados para establecer estándares válidos de diseño minero (geomecánicos, perforación y tronaduras, operacionales), y de esta forma parametrizar las geometrías de la Batea y del Crown Pillar. Con este estudio se tiene determinada la Malla de Extracción en tres dimensiones (3D).

Finalmente, se muestra un ejemplo de aplicación de esta metodología de diseño, el que corresponde a un sector particular de la mina El Teniente, emplazado en roca primaria. Para este caso de estudio, se ha utilizado como ejemplo el macizo rocoso correspondiente al sector Mina Esmeralda.

I. Flujo Gravitacional

El Flujo Gravitacional de partículas se define como: "El flujo de material fragmentado no cohesivo a través de un punto de extracción afectado por la fuerza de gravedad". El flujo gravitacional se caracteriza por el movimiento de partículas dentro de un elongado elipsoide de revolución. El flujo gravitacional de partículas describe un movimiento donde además del desplazamiento vertical hay una rotación (movimiento secundario). Los principales estudios sobre flujo gravitacional se han hecho para Sub Level Caving.

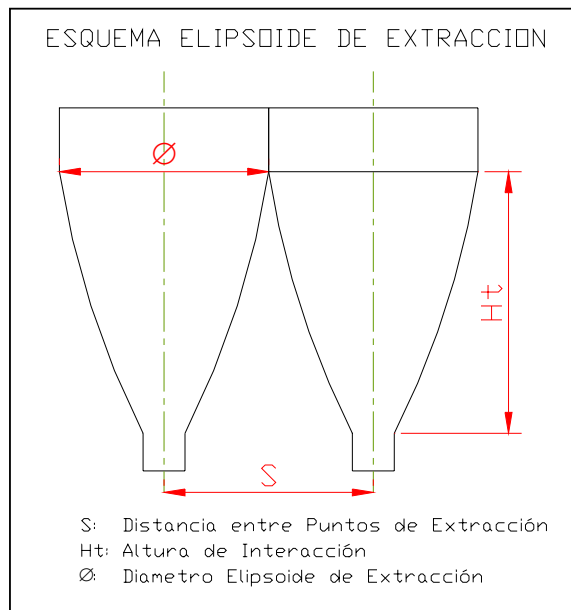


Figura N° 1: Modelo del Elipsoide Extracción

Teorías de Flujo Gravitacional

- Teoría de Richardson.
- Teoría de Brown y Hawksley.
- Teoría de Janelid y Kvapil.
- Teoría de Laubscher.

Investigaciones recientes sobre Flujo Gravitacional

- Modelamiento del Flujo Gravitacional, A. Susaeta – H. Díaz; 2001.
- Teoría del Flujo Gravitacional; A. Susaeta; MassMin 2004.
- Modelo Predictivo para Flujo Gravitacional; M. Alfaro, MassMin 2004.
- Simulating Gravity Flow in Sub-Level Caving with Cellular Automata; G. Sharrock et al; MassMin 2004.

- Geotechnical Analysis of Gravity Flow During Block Caving; R. Verdugo, J. Ubilla MassMin 2004.
- Investigation of Swell Factor in a Block Cave Draw Column; G. Esterhuizen et al, MassMin 2004.

Aunque el ábaco de Laubscher figura N°2, está orientado para el diseño de mallas pequeñas, igual se utilizará para determinar el máximo y mínimo espaciamento entre puntos de extracción, dato que se usará más tarde en la curva propuesta por el mismo en figura N°3. A ésta curva se le ingresa el Rating máximo y la diferencia de rating en la columna de primario, para de esta forma determinar la altura de interacción Hz.

La información de salida que entrega el Abaco y la curva de Laubscher se detalla a continuación:

- El ábaco entrega, el espaciamento teórico máximo y mínimo entre puntos de extracción (S).
- La curva entrega la altura de interacción (Hz).

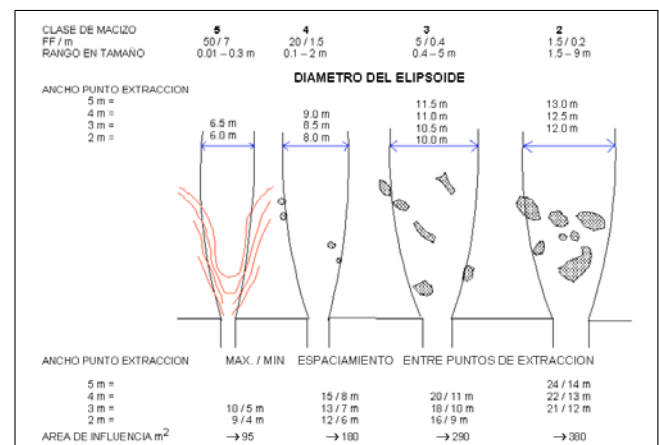


Figura N° 2: Abaco de Laubscher para determinar Espaciamento entre puntos de extracción

El dato de la altura de interacción HZ que entrega Laubscher es equivalente a la altura de extracción propuesto por Kvapil en su curva (figura N°4). En la curva de Kvapil, se relaciona la altura de extracción HT con el diámetro del elipsoide de extracción teórico (W'), y utilizando la fórmula planteada por Kvapil (figura N°5), se procede a determinar el diámetro real del elipsoide de extracción, que tenderá a ser un poco menor que el teórico.

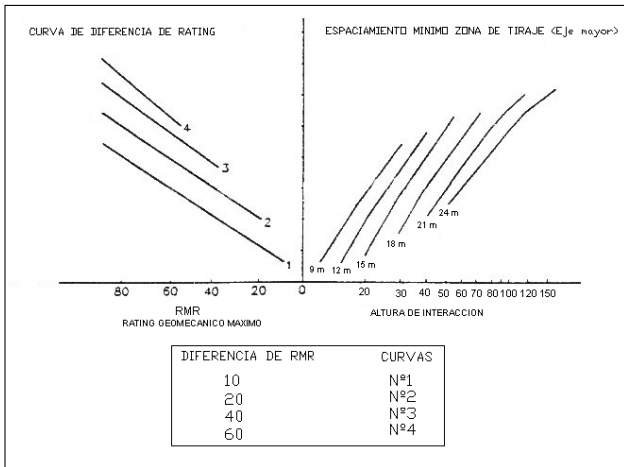


Figura N° 3: Curva de Laubscher para determinar la Altura de Interacción.

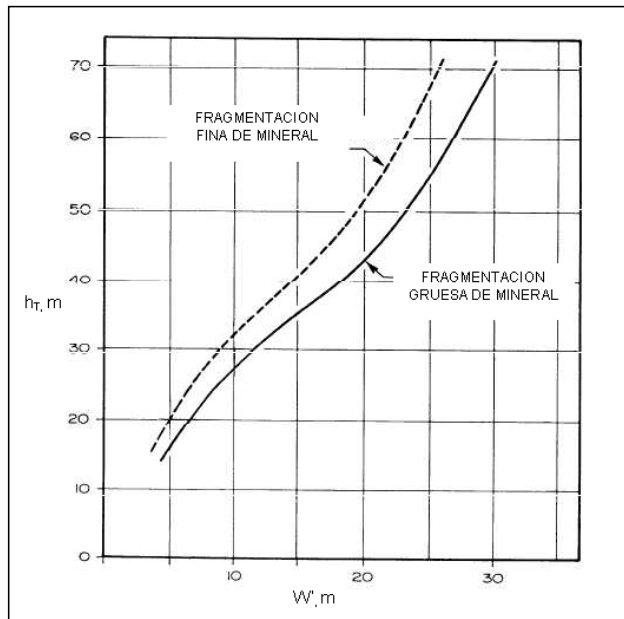


Figura N° 4: Curva de Kvatil que relaciona diámetro del elipsoide de extracción con la altura de extracción (interacción)

En donde:

HT: Altura de extracción o altura de interacción.

W': Ancho teórico del elipsoide de extracción.

Gracias a los conceptos obtenidos de las teorías de Kvatil y Laubscher, se ha podido crear una metodología, que puede ser usada para determinar el radio del elipsoide de extracción de cualquier macizo, en que los

sectores a analizar están emplazados en roca primaria.

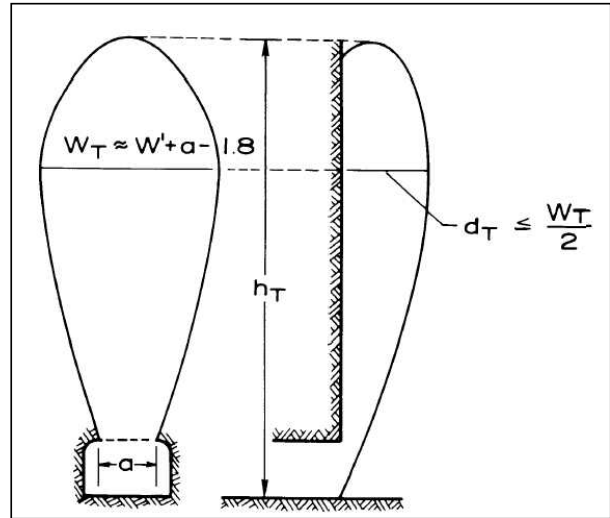


Figura N° 5: Fórmula de Kvatil para determinar el diámetro del elipsoide de extracción real.

WT: Diámetro del elipsoide real.

dT: Radio del elipsoide.

a: Ancho punto de extracción.

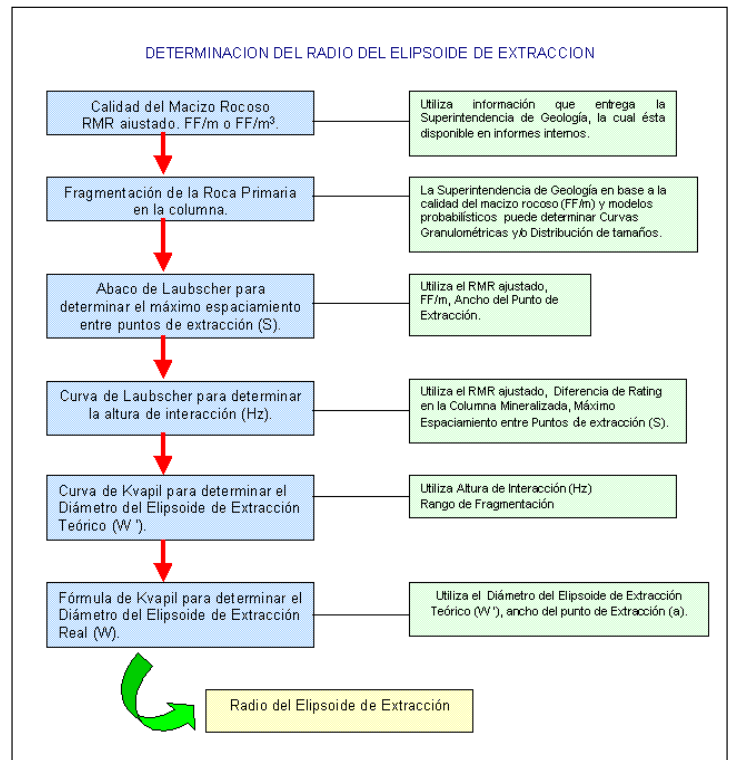


Figura N° 6: Diagrama de Flujo para determinar el Radio del Elipsoide de Extracción.

II. Distribución Geométrica de Elipsoides de Extracción

Una vez definida la metodología para determinar el Radio del Elipsoide de Extracción (R), se tiene que definir la distribución geométrica de elipsoides, que es el arreglo espacial en que se ubicarán los elipsoides en el diseño minero del Nivel de Producción y que definen la Malla de Extracción. A la distribución geométrica de elipsoides se le llamará configuración de elipsoides.

Configuraciones Básicas de Elipsoides

Formas de disponer espacialmente los elipsoides de extracción, en planta.

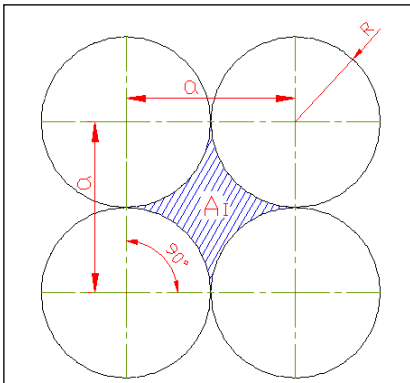


Figura N° 7: Configuración Cuadrada de Elipsoides.

En donde:

- a: Distancia entre centros de elipsoides.
- R: Radio del elipsoide de extracción = $a/2$
- A_i : Área Intactiva

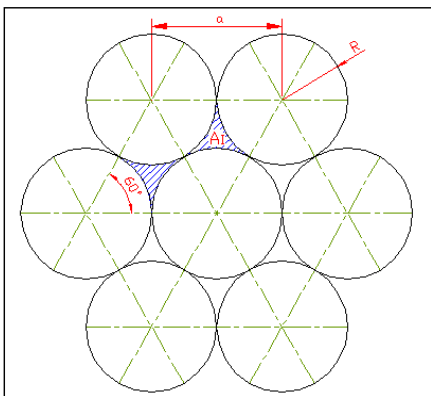


Figura N° 8: Configuración Triangular de Elipsoides.

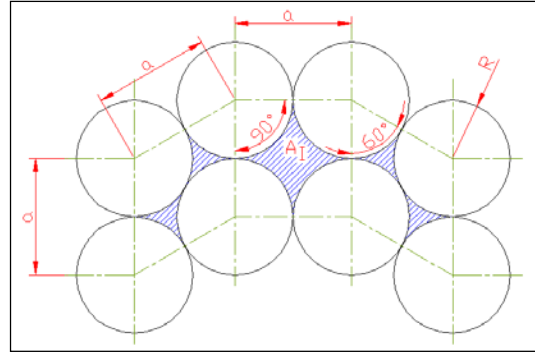


Figura N° 9: Configuración Mixta de Elipsoides.

Independiente de estas tres formas básicas de disposición, ellos se pueden distribuir en:

- Elipsoides Separados.
- Elipsoides Tangentes.
- Elipsoides Traslados.

Criterios Geométricos de Comparación

- Densidad (A_h): Área de influencia promedio de los puntos de los elipsoides.
- Angulo entre ejes (α): Angulo formado entre los ejes de filas horizontales y los elipsoides de una misma fila.
- Área de Diseño (A_d): Corresponde al área que encierran los círculos de los elipsoides de extracción menos $1/2$ del área compartida entre ellos.
- Sustentación (% Interacción): Este índice mide el porcentaje de área que encierran los Elipsoides de Extracción (A_d) sobre el área que abarca la malla (A_h).
- Anisotropía: Relación existente entre el máximo y mínimo radio de influencia de un punto de extracción.
- Distorsión: Relación existente entre la máxima y mínima distancia entre puntos de extracción contiguos.

Evaluación Geométrica de Elipsoides

Mediante los criterios antes mencionados se evaluará geoméricamente las distribuciones de elipsoides, dentro de las cuales se tiene:

- Cuadrangular Tangente
- Cuadrangular Tangente y Traslada
- Triangular Tangente
- Triangular Tangente y Separada
- Triangular Traslape Parcial
- Triangular Traslape Total
- Mixta Tangente.

Tabla N° 1: Resumen de Índices Geométricos asociados a cada configuración.

Radio = 10 m		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	Ideal
Configuración		Cuadrangular		Triangular			Mixta		
Variante		Tang	Tras	Sep	Tang	Tras Parcial	Tras Total	Mixta Tang	
Índices Geométricos	Densidad [m ²]	400.0	346.4	400.0	346.4	300.0	259.8	373.2	340
	Angulo	90°	90°	63.5°	60°	63.5°	60°	60°	60°
	Area Diseño [m ²]	314.2	296.0	314.2	314.2	292.4	259.8	314.2	---
	Sustentación	78.5%	85.5%	78.5%	90.7%	97.5%	100%	86.2%	100%
	Distancia Dn [m]	14.1	13.2	12.5	11.5	10.80	10.0	12.20	---
	Anisotropía	1.41	1.32	1.25	1.15	1.25	1.15	1.22	1.15
	Distorsión	1.00	1.15	1.12	1.00	1.12	1.00	1.00	1.00

Las configuraciones que obtuvieron los mayores puntajes son:

- **Configuración Triangular Tangente:** Esta configuración tiene un ángulo entre ejes de 60°, aquí los elipsoides están totalmente tangentes, la sustentación llega a un 90.7% valor muy aceptable, comparada con la configuración cuadrangular tangente que es de un 78.5%.
- **Configuración Triangular Traslapada Total:** Esta configuración tiene un ángulo entre ejes de 60°, los elipsoides se encuentran totalmente traslapados para eliminar el área intacta, de esta forma se logra una sustentación de 100% (interacción).
- **Configuración Mixta Tangente:** Esta configuración es regular, presenta un ángulo entre ejes de 60°, este ángulo es más importante que el ángulo de 90°, ya que operacionalmente en esta configuración el ángulo de intersección calle/zanja correspondería a 60°. El porcentaje de sustentación llega a un 86.2%

Tabla N°2: Resumen Configuraciones Recomendadas

Radio Elipsoide [m]	10			
Índices Geométricos	Triangular Tangente	Triangular Traslape Total	Mixta Tangente	Ideal
Densidad [m ²]	346.4	259.8	373.2	340.0
Angulo entre ejes	60°	60°	60°	60°
Area de Diseño [m ²]	314.2	259.8	314.2	---
Sustentación	90.7%	100.0%	86.2%	100.0%
Distancia Dn [m]	11.5	10.0	12.20	---
Anisotropía	1.15	1.15	1.22	1.55
Distorsión	1.00	1.00	1.00	1.00
Puntaje	5	4	3	

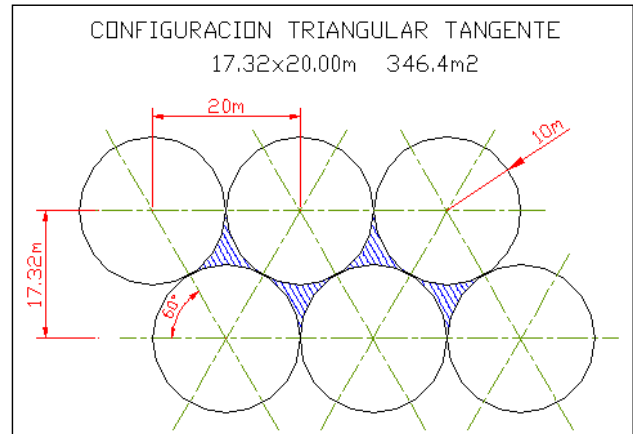


Figura N° 9: Configuración Triangular Tangente

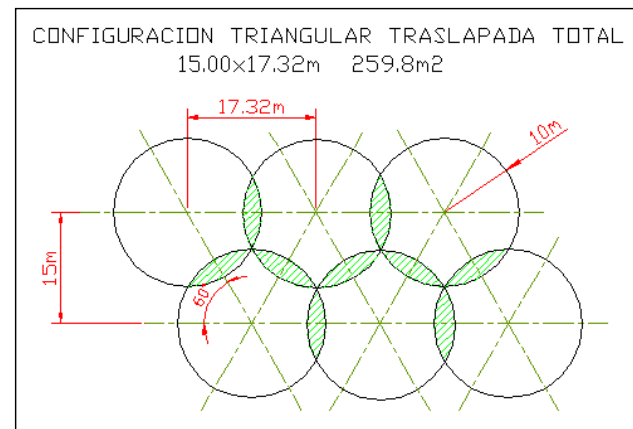


Figura N° 10: Configuración Triangular Traslapada Total

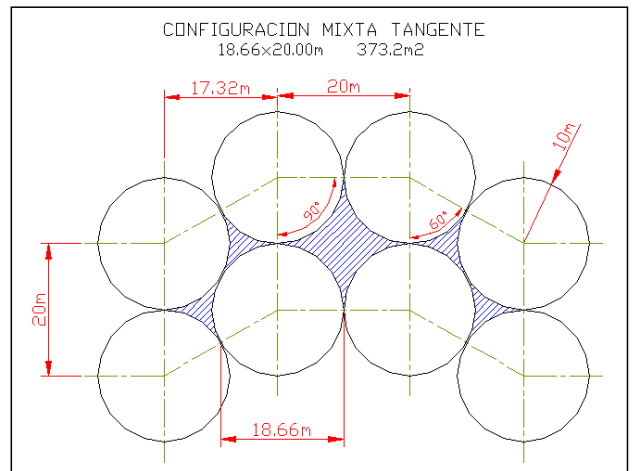


Figura N° 11: Configuración Mixta Tangente

Respecto de la evaluación geométrica, se puede concluir lo siguiente:

El porcentaje de área intacta entre elipsoides en la configuración Triangular Tangente es de 9.3%, en la configuración Mixta Tangente de 13.8% y en la configuración Triangular Traslapada Total de 0%. Considerando la teoría de Laubscher, los elipsoides interactúan con separaciones entre sus centros de hasta 1.5 veces su diámetro, por lo que cualquiera de estas configuraciones sería factible de aplicar.

La configuración Triangular Tangente, tiene una densidad de área de 346.4 m², la Triangular Traslapada Total un área de 259.8 m² y la Mixta Tangente un área de 373.2 m².

La configuración Cuadrangular en todas sus variantes fue la peor evaluada, por ello se recomienda no considerar esta configuración para el diseño de las Mallas de Extracción.

Se recomienda considerar las configuraciones Triangular Tangente, Triangular Traslapada Total y Mixta Tangente, para el diseño de las Mallas de Extracción.

III. Diseño de la Malla de Extracción

Una vez determinada la distribución geométrica de los elipsoides de extracción, el paso siguiente es determinar el diseño minero de la Malla de Extracción asociado a cada una de las distribuciones de elipsoides.

Para determinar el diseño más adecuado para la Malla de Extracción, se utilizará el siguiente procedimiento:

- Detalle de las labores del método Panel Caving.
- Analizar las distintas Mallas de Extracción que existen, indicando su relación con las configuraciones de elipsoides, destacando sus características, ventajas y desventajas.
- Realizar un estudio comparativo de los tipos de Mallas de Extracción que se podrían aplicar en el método Panel Caving, específicamente en roca primaria.

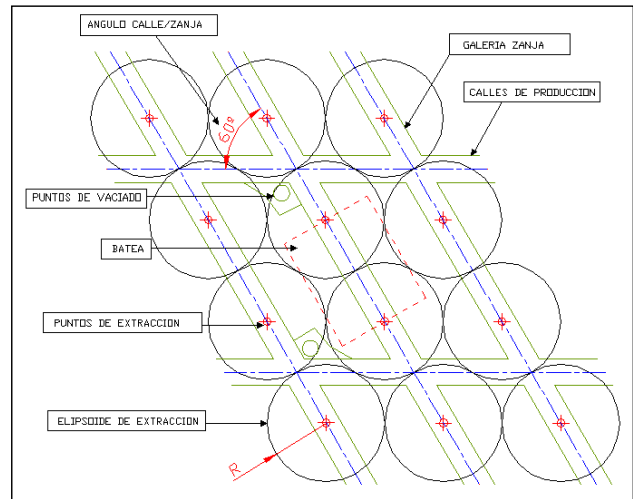


Figura N° 12: Planta de Malla de Extracción, detalle de labores (Malla tipo Teniente)

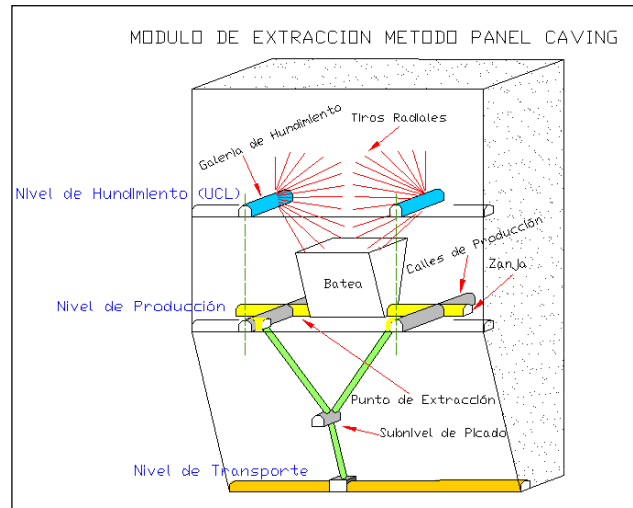


Figura N° 13: Módulo de Extracción del Método de Explotación Panel Caving (con Subnivel de Reducción)

Tipos de Malla de extracción

Se conocen tres tipos de Mallas de Extracción, las cuales son:

1. **Malla Cuadrada:** Esta malla utiliza como base teórica de diseño una Configuración Cuadrangular de elipsoides de extracción, es utilizada en el método Block Caving (roca secundaria), no se conocen experiencias prácticas de esta malla en el método Panel Caving con traspaso vía LHD.
2. **Malla Tipo Teniente:** Esta malla utiliza como base teórica de diseño una Configuración Triangular de elipsoides de

extracción, y es utilizada en el método Panel Caving. Esta malla ha dado muy buenos resultados operacionales, de ahí que su aplicación se extendiera a casi todos los sectores en la Mina El Teniente

3. **Malla Tipo Henderson:** También llamada "Espina de Pescado", esta malla utiliza como base teórica de diseño una Configuración Mixta de elipsoides de extracción, también es utilizada en el método Panel Caving. Es una alternativa a la malla Tipo Teniente, existen algunos casos de aplicación de esta malla en la mina El Teniente (Ten-4 Regimiento).

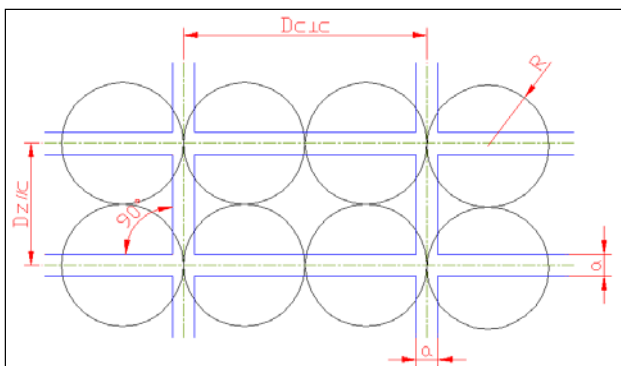


Figura N° 14: Detalle Malla Cuadrada

En donde:

- R: Radio del Elipsoide de Extracción.
 D_{c1c} : Distancia entre Calles de Producción.
 D_{z1c} : Distancia entre Galerías Zanja.
 a: Ancho de Calles de Producción y de Galerías Zanja.

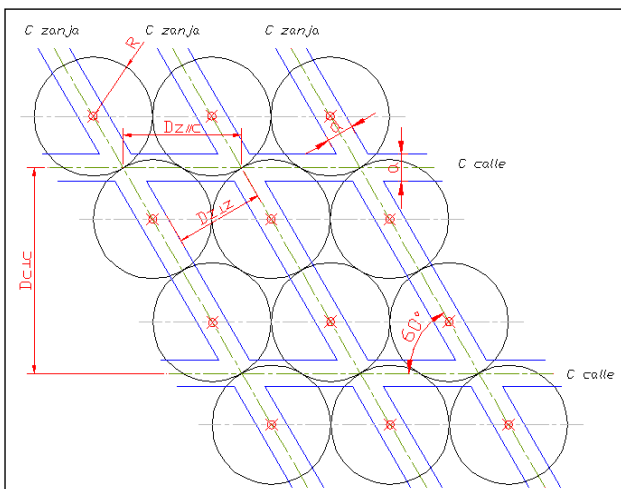


Figura N° 15: Detalle de la Malla Tipo Teniente

En donde:

- R: Radio del Elipsoide de Extracción.
 D_{c1c} : Distancia entre Calles de Producción, medida perpendicularmente entre calles.
 D_{z1c} : Distancia entre Zanja, medida paralelamente a las calles.
 D_{z1z} : Distancia entre Zanja, medida perpendicularmente entre Zanja.
 a: Ancho de las Calles de Producción y de las Galerías Zanja. Cabe señalar que las secciones de las galerías zanja pueden ser diferentes a las secciones de las calles de producción.

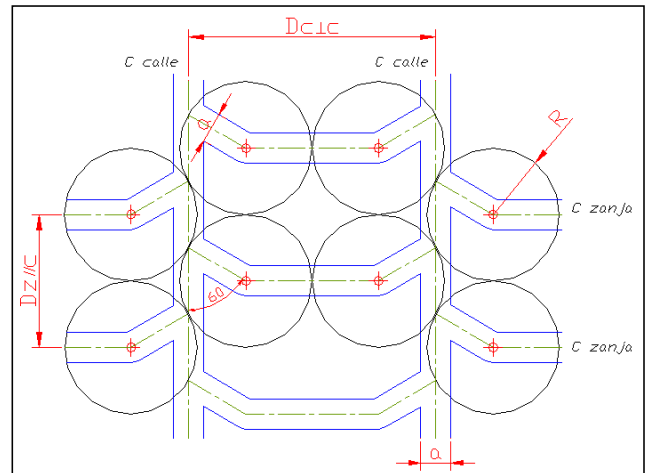


Figura N° 16: Detalle de la Malla Henderson.

En donde:

- R: Radio del Elipsoide de Extracción.
 D_{c1c} : Distancia entre Calles de Producción.
 D_{z1c} : Distancia entre Zanja.
 a: Ancho de las Galerías.

Selección de la Malla de Extracción

La selección de la Malla de Extracción, se realizará en base a los requerimientos necesarios para implementar el método de explotación Panel Caving, específicamente en roca primaria. Para ello se evaluarán los tipos de mallas de extracción analizadas anteriormente.

No existen experiencias de aplicación de la malla cuadrada en Panel Caving, los únicos antecedentes que se conocen, son estudios de Ingeniería Conceptual. Mientras que en el método Block Caving, esta malla ha sido la base de diseño de este método. La evaluación

que se realizará demostrará que esta malla no es conveniente de ser aplicada al método Panel Caving.

En cambio, las mallas Tipo Teniente y Tipo Henderson han sido ampliamente utilizadas en minas que se explotan por el método Panel Caving, con uso de equipo LHD. La evaluación que se realizará, nos ayudará a determinar el diseño más adecuado, aquel que sea compatible con los requerimientos que exige el método Panel Caving.

Para llevar a cabo la evaluación de las Mallas de Extracción, se tienen que considerar algunos aspectos o factores que son muy incidentes en las mallas de extracción, los cuales son:

- Aspectos Operacionales.
- Aspectos Geométricos.
- Aspectos Geomecánicos.

(1) Aspectos Operacionales

- Experiencia práctica de aplicación en Panel Caving.
- Grado de mecanización del proceso de extracción de mineral.
- Direcciones de operación del equipo LHD.
- Posibilidad de usar parte de la galería zanja opuesta.
- Productividad de los equipos LHD.
- Posibilidad de aplicar equipo LHD eléctrico.

(2) Aspectos Geométricos

- Angulo calle/zanja.
- Número de direcciones de galerías.
- Geometrías de los pilares de sustentación.
- Generación de puntas de diamantes (ángulos agudos).

(3) Aspectos Geomecánicos

- Factor de Seguridad (FS) pilar calle-zanja.
- Probabilidad de Falla (PF) pilar calle-zanja.

(4) Otros Aspectos

- La Interacción del Flujo de Mineral.
- Ventilación de Galerías.

Tabla N° 3: Resumen Evaluación Tipos de Mallas de Extracción.

Aspecto a Evaluar	Malla Cuadrada	Malla Teniente	Malla Henderson
Operacionales	14	25	24
Geométricos	16	18	13
Geomecánicos	6	10	9
Otros Aspectos	5	7	10
Total Puntaje	41	60	56

Análisis de Resultados

- Operacionalmente la malla Tipo Teniente fue la mejor evaluada, esto se debe a las grandes ventajas que ella ofrece, los aspectos más relevantes en que esta malla destaca, es la experiencia de aplicación lograda a través de los años, el grado de mecanización con usos del LHD y la posibilidad de usar la zanja opuesta por parte del equipo LHD.
- Geométricamente, también la malla Tipo Teniente es la mejor evaluada, donde el ángulo calle/zanja de esta es adecuado para la operación del LHD, además dada la geometría de esta malla, sólo se tienen dos direcciones de galerías. Mientras menos direcciones de galerías se tengan, es menos probable encontrarse con estructuras geológicas subparalelas.
- El Factor de Seguridad y Probabilidad de Falla de la malla Tipo Teniente es ligeramente superior a los de la malla Tipo Henderson. Dada la geometría de la malla cuadrada donde el pilar central tiene una sección rectangular, se esperaría un factor de seguridad mayor que en las mallas Tipo Teniente y Henderson.
- Otros aspectos analizados, como la ventilación de galerías, la malla Tipo Henderson dada su geometría tiene menores pérdidas de caudal que la malla Tipo Teniente. El efecto de la interacción del mineral está muy ligado a la geometría de la malla de extracción, en la malla Cuadrada la interacción sobre las calles es muy baja, en la malla Tipo Teniente la interacción sobre las calles es un tanto mejor que en el diseño anterior, igual caso que la malla Tipo Henderson.

Producto de la evaluación anterior, la malla Tipo Teniente presenta un puntaje de 60 puntos, la malla Henderson 56 puntos y la malla cuadrada 41 puntos. Por lo tanto, las mallas Cuadrada y Tipo Henderson son menos convenientes para el diseño de las nuevas Mallas de Extracción que la malla Tipo Teniente.

El diseño de la malla Tipo Teniente, indica de manera general las disposiciones de las calles

de producción y de las galerías zanjadas en la malla de extracción.

IV. Operativización de la Malla de Extracción

Una vez definido el diseño minero de la Malla de Extracción, la etapa siguiente es la operativización de la malla. La operativización consiste en el dimensionamiento de la malla preestablecida considerando las dimensiones de los equipos LHD (largo, ancho máximo y altura máxima).

El dimensionamiento de la malla de extracción consiste en la determinación de los siguientes parámetros:

- Sección de galerías.
- Distancia entre calles de producción, medida perpendicular a la calle.
- Distancia entre galerías zanjadas, medida paralela a la calle.

Equipo de Carguío

El equipo de carguío que será utilizado en el proceso de extracción es el LHD, cuyo nombre nace de las iniciales de las palabras "Load - Haul - Dump", lo que significa que realiza dichas operaciones en cada uno de sus ciclos:

La lógica indica que al aumentar las dimensiones de las Mallas de Extracción, también se deben aumentar las dimensiones de los equipos LHD. En el mercado de los equipos para minería subterránea, se encuentran disponibles equipos LHD de diversas marcas, capacidades y tamaños, según sean las necesidades y/o requerimientos de los clientes.



Figura N° 17: Detalle equipo LHD

Tabla N° 4: Comparación LHD Diesel versus LHD Eléctrico

Característica	LHD Diesel	LHD Eléctrico
Autonomía	Mayor autonomía de trabajo.	Menor autonomía de trabajo, dado que necesita cables de alimentación.
Infraestructura Adicional	Red de abastecimiento de Petróleo.	Instalaciones eléctricas especiales.
Requerimientos de Ventilación (CFM)	100 CFM por cada HP de la máquina.	Menor, sólo para enfriamiento del motor.
Respuesta al torque	Menor, implica más maniobras.	Mayor, llena el balde de una sola vez.
Emisión de gases	Emisión de gases: CO ₂ , CO.	No existe emisión de gases.
Ruido y vibraciones	Mayor.	Menor.
Rodaje	Rodaje más duro, mayores derrames, por mala mantención de carpetas.	Rodaje más suave, menores derrames, ya que se requiere mantención de carpetas.
Costo de mantención del motor	Mayor, motor más complejo dado su mayor número de componentes.	Menor, motor más simple y menor número de componentes respecto al Diesel.
Limpieza de carpetas de rodados	Menor, dado que no existen cables.	Mayor, por la existencia de cables.
Distancia de acarreo	No mayor a 50 m (sector Esmeralda).	Menor, limitada por el largo del cable.
Sentido de acarreo	Sin restricción (calle de producción).	Un solo sentido del balde (calle de producción).
Inversión Inicial	70%	100%
Costo de Operación %	100%	80%

Analizando los resultados que entrega la tabla anterior, el equipo que ofrece mayores ventajas, es el equipo LHD Diesel.

Capacidad del Equipo de Carguío

Para determinar la capacidad del equipo LHD a utilizar, se debe considerar la productividad esperada, la productividad mide el tonelaje de mineral por hora (ton/hora). El tiempo de ciclo del LHD es función de la distancia entre el lugar de carga y descarga, a mayor distancia implica un mayor tiempo de ciclo y viceversa, de esta forma al aumentar la distancia de carguío y manteniendo constante la capacidad del equipo LHD, la productividad se reduce.

Tabla N° 5: Cálculo Productividad del LHD.

Capacidad [yd ³]	Distancia de Viaje LHD [m]	Productividad [ton/hora]
6.0	60	224.7
6.0	90	186.8
6.0	120	159.8

Para solucionar el problema de la baja productividad, la solución es aumentar la capacidad de carga del equipo LHD, de esta forma la productividad se podría mantener o aumentar.

Tabla Nº 6: Calculo Productividad del LHD.

Capacidad LHD [yd ³]	Distancia de Viaje LHD [m]	Productividad [ton/hora]
6.0	60	224.7
9.2	90	285.5
11.0	120	293.0

Los nuevos estudios que se han hecho en la Mina El Teniente (respecto a las nuevas Mallas de Extracción) plantean un nuevo concepto en el proceso de extracción, donde no se utilizan puntos de vaciado en las calles de producción. Ahora, en algunos sectores, se utilizan tolvas en la periferia del sector a explotar, que alimentan a una sala de chancado.

Si bien es importante seleccionar el equipo LHD desde un punto de vista de la capacidad del balde, también es importante analizar las dimensiones de los equipos, específicamente el largo del equipo LHD, dado que influye fuertemente en la distribución de los elipsoides de extracción, que es la materia específica de este punto.

Cuando se dimensiona la malla de extracción considerando el largo del equipo LHD, la distribución de elipsoides podría sufrir una deformación, causada por el traslape de los elipsoides hacia el centro de la batea, los elipsoides podrían quedar tangentes o separados sobre las calles de producción.

Para realizar la operativización de la Malla de Extracción, se utilizarán equipos LHD de diferente capacidad, los cuales se encuentran en un rango de longitud de 9.5 m a 11.9 m.

Tabla Nº 7: Modelos de equipos LHD a analizar

Modelo	Capacidad [Yd3]	Largo LHD [m]
ST-6C	6.0	9.5
TORO 1400	7.0	10.5
TORO 0011	13.0	11.9

Sección de Galerías

En la tabla Nº 8 se muestran las secciones mínimas de las galerías, para las calles de producción y galerías zanjas.

Tabla Nº 8: Sección de galerías para cada equipo LHD

Modelo Equipo	Capacidad LHD [m]	Ancho Libre de Galería [m]	Alto Libre de Galería [m]
ST-6C	6.0	4.0	3.6
Toro 1400	7.0	4.0	3.6
Toro 0011	13.0	4.5	4.0

Cálculo Largo de Zanja

Para determinar el largo de galería zanja que necesita cada equipo LHD, se asumirá la utilización de toda la calle de producción y sólo en aquellos casos donde el equipo es muy pequeño respecto a la dimensión de la malla de extracción, se optará por dejar una holgura para evitar que los puntos de extracción se acerquen (retrocedan) hacia la calle.

Para determinar la longitud de la galería zanja mínima que necesita cada equipo LHD se utiliza la siguiente fórmula.

$$L_z = L_{eq} + L_{talud} - A_c / \text{sen}(60^\circ)$$

Donde:

L_z : Largo de galería zanja que necesita el LHD.

L_{eq} : Largo del equipo LHD.

L_{talud} : Largo del talud de mineral en el punto de extracción.

A_c : Ancho de la Calle de Producción.

Para una galería de sección 4 x 3.6 m se tendrá un talud de mineral de 2.25 m, para una galería de sección 4.5 x 4 m se tendrá un talud de mineral de 2.5 m.

Ejemplo de cálculo de largo de galería zanja:

Modelo equipo LHD: TORO 1400

Capacidad: 7 yd³

Largo equipo: 10.50 m

Ancho Calle: 4 m

Largo de talud: 2.25 m

$$L_z = L_{eq} + L_{talud} - A_c / \text{sen}(60^\circ)$$

$$L_z = 10.5 + 2.25 - 4 / \sin(60^\circ) \text{ m}$$

$$L_z = 8.13 \text{ m}$$

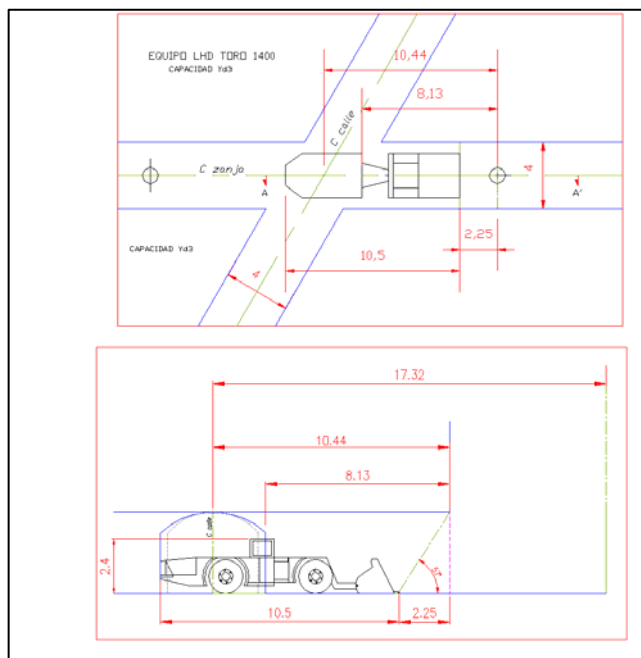


Figura N° 18: Ejemplo Largo galería zanja LHD Toro 1400

Comparación Mallas de Extracción

Para comparar las distintas mallas operativizadas, se usarán los siguientes índices geométricos de comparación:

- Densidad.
- Distorsión.
- Holgura.
- Angulo calle/zanja.
- Sustentación.

Operativización de la Malla de Extracción

La dimensión de la malla de extracción queda definida por la mitad de la distancia entre las calles perpendicular a las calles ($D_{C\perp C}$) y la distancia entre galerías zanjales paralela a las calles ($D_{Z\parallel C}$). Estas dos distancias son función del radio del elipsoide de extracción (R):

- $D_{C\perp C} \rightarrow f_1(R)$
- $D_{Z\parallel C} \rightarrow f_2(R)$

Para un radio de elipsoide de 10 m, se obtuvieron las siguientes mallas de extracción, cuyas distancias se aprecian en la tabla N° 9.

Tabla N° 9: Dimensiones de Mallas de Extracción

Malla $D_{C\perp C}/2 \times D_{Z\parallel C}$ [m]	Distancia $D_{C\perp C}$ [m]	Distancia $D_{Z\parallel C}$ [m]	Area [m ²]
15 x 17.32	30	17.32	259.8
17 x 20	34	20	340

Considerando las mallas teóricas, más las mallas vigentes en la Mina El Teniente, se tiene como resultado tres mallas para analizar, las cuales son:

- (1) Malla de 15 x 17.32 m
- (2) Malla de 15 x 20 m
- (3) Malla de 17 x 20 m

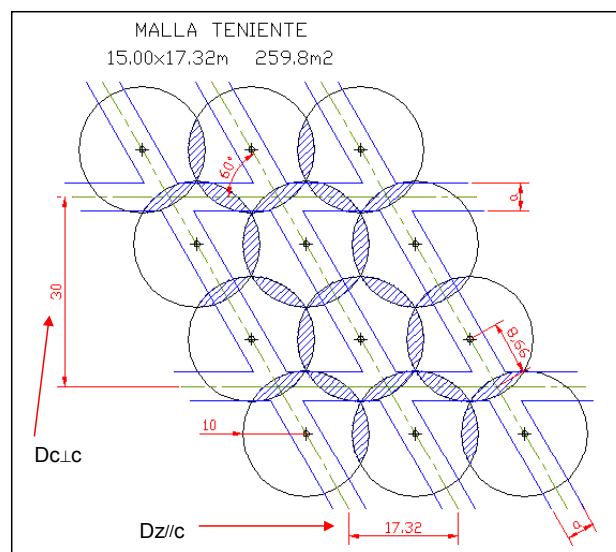


Figura N° 19: Malla de Extracción 15 x 17.32 m

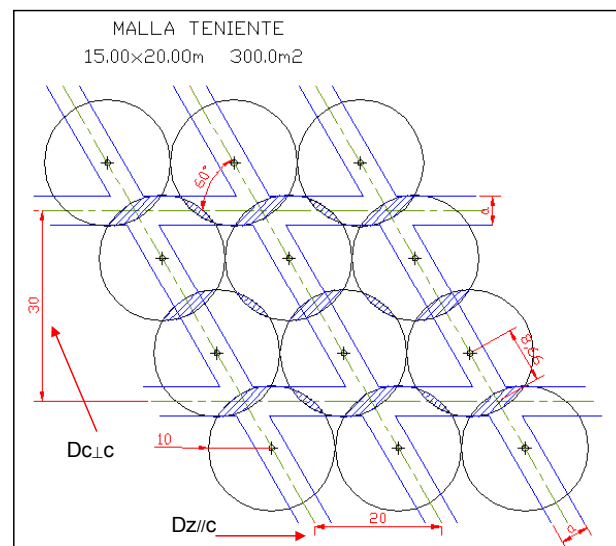


Figura N° 20: Malla de Extracción 15 x 20 m

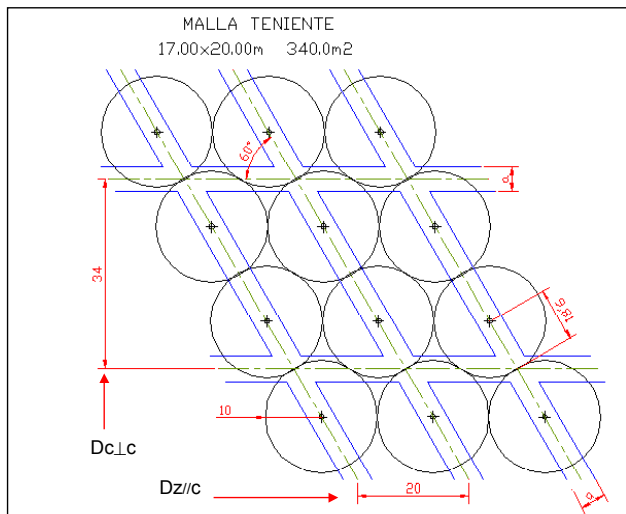


Figura N° 21: Malla de Extracción 17 x 20 m

Las mallas anteriores serán operativizadas utilizando equipos LHD de 6 y 13 yd³ de capacidad. El proceso de operativización consiste en la incorporación del equipo LHD al diseño de cada malla de extracción, sólo considerando las dimensiones del equipo LHD.

Durante la operativización la distribución de elipsoides se desfasa. En donde la distancia entre los puntos de extracción (dentro de una misma batea) tiende a disminuir a medida que aumenta el largo de los equipos LHD.

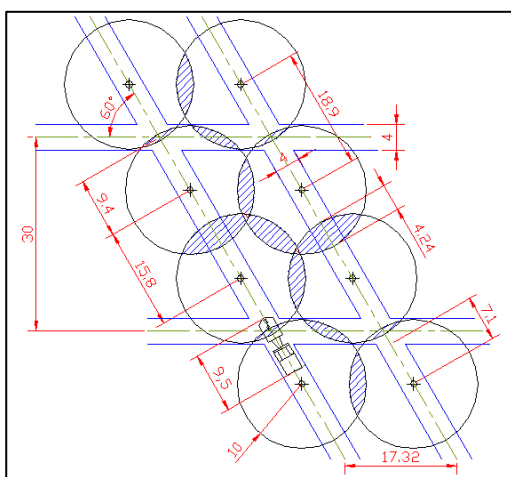


Figura N° 22: Malla de 15 x 17.32 m operativizada con LHD de 6 yd³.

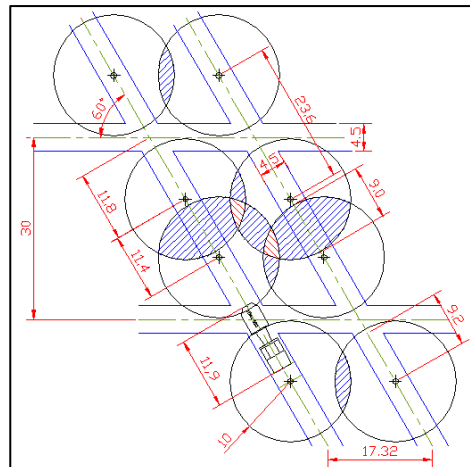


Figura N° 23: Malla de 15 x 17.32 m operativizada con LHD de 13 yd³.

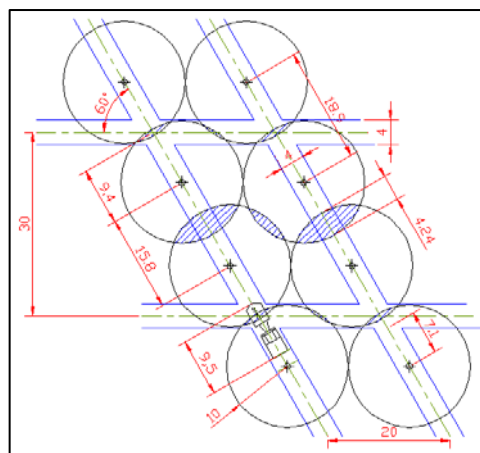


Figura N° 24: Malla de 15 x 20 m operativizada con LHD de 6 yd³.

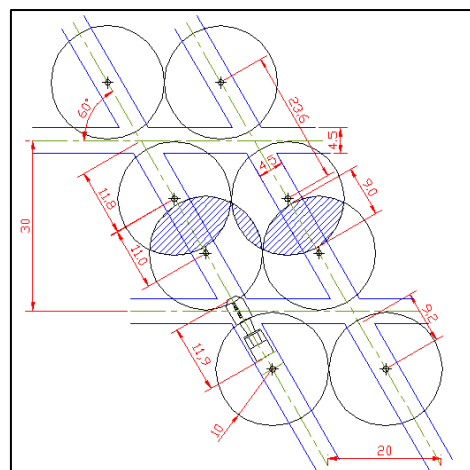


Figura N° 25: Malla de 15 x 20 m operativizada con LHD de 13 yd³.

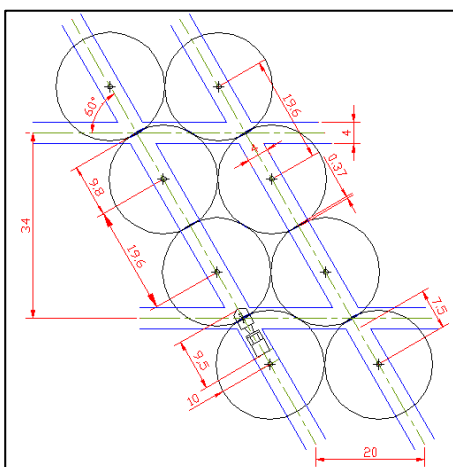


Figura N° 26: Malla de 17 x 20 m operativizada con LHD de 6yd³.

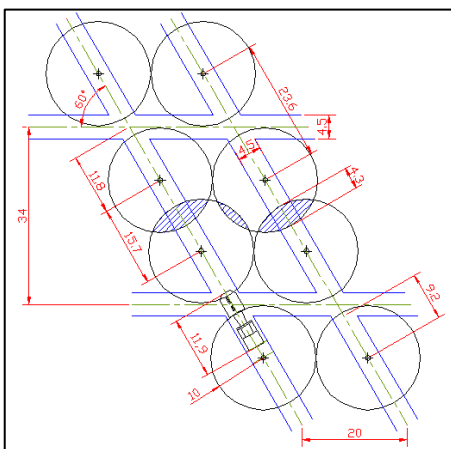


Figura N° 27: Malla de 17 x 20 m operativizada con LHD de 13yd³.

Tabla N° 10: Resumen de Índices Geométricos de las Mallas de Extracción

Índices Geométricos	15 x 17.32		15 x 20		17 x 20	
	$D_{CLC}/2$	D_{ZIJ}	$D_{CLC}/2$	D_{ZIJ}	$D_{CLC}/2$	D_{ZIJ}
Largo LHD [m]	9.5	11.9	9.5	11.9	9.5	11.9
Densidad [m ²]	259.8	259.8	300	300	340	340
Distorsión	1.20	2.14	1.20	2.14	1.00	1.51
Angulo calle/zanja	60°	60°	60°	60°	60°	60°
Holgura [m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	0.00
Sustentación	1.00	0.89	0.96	0.84	0.92	0.85

Tabla N° 11: Resumen Resultados de la Operativización.

Malla	LHD ST-6C largo = 9.5 m	LHD TORO 0011 largo = 11.9 m
17 x 20 m	Ventajas: Distorsión nula, en el centro de la batea no existe traslape de elipsoides. La magnitud del área sin interactuar sobre la calle de producción es pequeña, ya que los elipsoides están tangentes.	Ventajas: Distorsión media, los elipsoides se traslapan en el centro de la batea, separándose igual magnitud sobre la calle de Producción. La interacción de mineral en el centro de la batea es mayor.
	Desventajas: Existe una pequeña holgura para la operación del equipo LHD, dado que el equipo LHD es demasiado pequeño con respecto a las dimensiones de la malla.	Desventajas: La interacción del mineral en la zona la calle de producción es nula. El mineral acumulado en la zona sobre la calle de producción podría producir problemas de estabilidad.
	Recomendaciones: Usar equipos LHD más grandes.	Recomendaciones: Adecuado el uso de este equipo LHD.
15 x 20 m	Ventajas: Distorsión media, existe traslape en el centro de la batea, de esta forma se asegura la interacción del mineral en el centro de la batea, la interacción es cercana al 100%.	Ventajas: Distorsión alta, los elipsoides se traslapan en el centro de la batea, separándose igual magnitud la calle de producción. La interacción de mineral en el centro de la batea es cercana al 100%.
	Desventajas: Los elipsoides sobre la calle de producción están levemente traslapados, mayor interacción en el centro de la batea, y leve sobre la calle de producción.	Desventajas: La interacción del mineral en la zona sobre la calle de producción es nula. El mineral acumulado en la zona sobre la calle de producción podría producir problemas de estabilidad.
	Recomendaciones: Adecuado el uso de este LHD.	Recomendaciones: Usar equipos LHD más pequeños.
15 x 17.32 m	Ventajas: Distorsión leve, existe traslape en el centro de la batea, de esta forma se logra un 100% interacción en el centro de la batea. Sobre la calle de producción los elipsoides se traslapan levemente, lo que reduce la zona con mineral sin interactuar.	Ventajas: Distorsión muy alta, los elipsoides se traslapan en el centro de la batea, separándose igual magnitud en la zona sobre la calle de producción. La interacción de mineral en el centro de la batea es de 100%.
	Desventajas: No es posible la aplicación de equipos de capacidades mayores, ya que la dimensiones de la malla lo impide.	Desventajas: La interacción del mineral en la zona sobre la calle de producción es nula. El mineral acumulado en la zona sobre la calle de producción podría producir problemas de estabilidad.
	Recomendaciones: Adecuado el uso de este LHD.	Recomendaciones: Usar equipos LHD más pequeños.

Tabla N° 12: Resumen Operativización.

Malla $D_{CLC}/2 \times$ $Dz//c$	Marca	Modelo	Capacidad [yd ³]	Largo equipo [m]
15 x 17.32 m	Atlas Copco	ST-6C	6.0	9.5
15 x 20 m	Atlas Copco	ST-6C	6.0	9.5
17 x 20 m	Sandvik	Toro 0011	13.0	11.9

V. Diseño de Bateas y Pilar Corona

El diseño de las bateas para el método Panel Caving y sus variantes, está condicionado por distintos parámetros y restricciones. El paso de la explotación de roca secundaria a primaria, originó la introducción de importantes cambios tecnológicos en el proceso de extracción del mineral. La nueva situación requería extraer mayores volúmenes de mineral para hacer el negocio más rentable, por lo que las dimensiones de las distintas labores mineras debieron ajustarse a este nuevo requerimiento, de esta forma los antiguos embudos utilizados en el Hundimiento de Bloques, evolucionaron a las actuales bateas utilizadas en Hundimiento por Paneles, para de esta forma poder recepcionar material de fragmentación más gruesa.

La batea se puede definir como: "Una labor de geometría semejante a una tolva, cuya función es recepcionar el mineral quebrado proveniente del Hundimiento". Cada batea consta de dos puntos de extracción, ubicados en cada extremo de ella, entre calles contiguas, donde los puntos de extracción se comunican inmediatamente con las galerías zanjás (figura N° 29).

El Pilar Corona (Crown Pillar) corresponde a la porción del macizo rocoso que existe entre el Nivel de Producción y el Nivel de Hundimiento, este último ubicado inmediatamente sobre el primero (figura N° 29).

Para definir la geometría de la batea, se utilizará un corte vertical A-A entre dos calles de producción a través de la galería zanja, y un corte vertical B-B perpendicular al eje de las galerías zanjás. En la figura N° 28 se aprecia la ubicación de estos dos cortes.

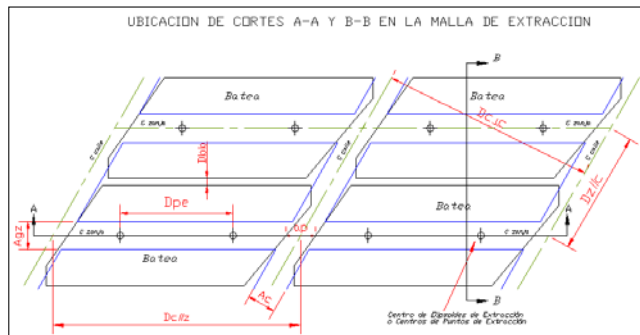


Figura N° 28: Ubicación de Cortes Verticales en la Malla de Extracción

En donde:

$D_{c\perp c}$: Distancia entre calles perpendicular a la calle.

$D_{c//z}$: Distancia entre calles paralela a la zanja.

$D_{z//c}$: Distancia entre zanjás paralela a la calle.

ap : Ancho del Apex.

D_{bb} : Distancia entre Bateas o apex mínimo.

Ac : Ancho de la Calle de Producción.

Agz : Ancho de la Galería Zanja.

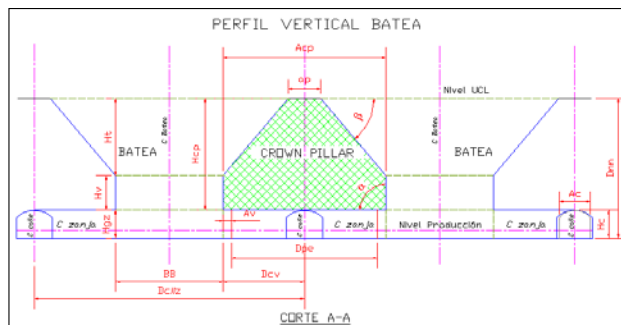


Figura N° 29: Detalle Corte Vertical A - A.

En donde:

A_{cp} : Ancho del Crown Pillar.

H_{cp} : Altura del Crown Pillar.

H_t : Altura del talud de la Batea.

α : Angulo del talud de la Batea.

H_v : Altura de la Visera.

β : Angulo de la Visera.

A_v : Ancho de la Visera.

D_{nn} : Distancia vertical entre el Nivel de Producción y el Nivel de Hundimiento.

D_{cv} : Distancia centro de la calle a la visera.

ap : Ancho del apex superior del Pilar Corona.

BB : Ancho de la base de la Batea.

H_{gz} : Altura de la Galería Zanja.

H_c : Altura de la Calle de Producción.

Ac: Ancho de la Calle de Producción.

La figura N° 30 corresponde al corte vertical B-B en la dirección perpendicular a las galerías zanja, en ella se puede distinguir la distancia entre las batas (Dbb), también llamada apex menor.

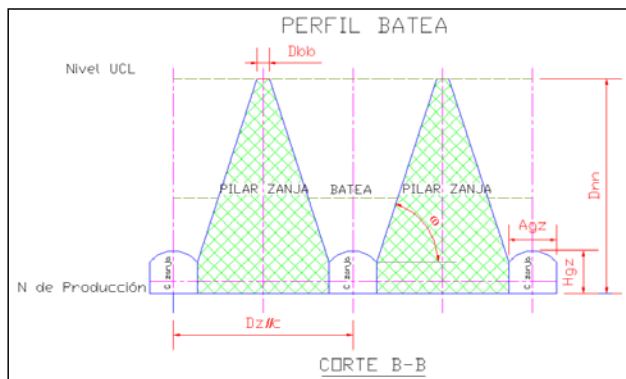


Figura N° 30: Detalle Corte Vertical B - B

En donde:

ω : Angulo de la pared entre Bateas.

Agz: Ancho de la galería zanja.

La figura N° 31 corresponde a un isométrico de la batea, en ella se observa claramente el Pilar Corona, el Nivel de Producción y el Nivel de Hundimiento (UCL), además de todos los parámetros que se detallaron en los cortes A-A y B-B.

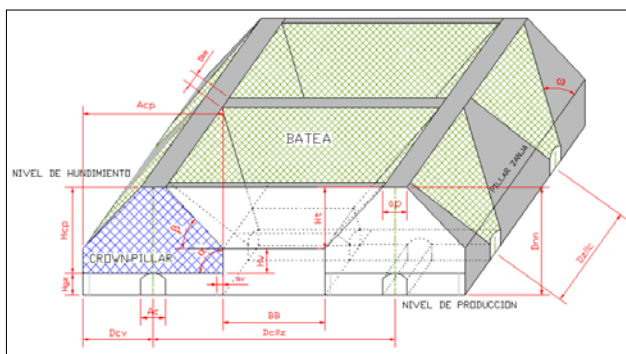


Figura N° 31: Isométrico Batea y Pilar Corona.

Diseño de Bateas

El diseño de la Batea y del Crown Pillar son dependientes, ya que determinando la geometría de la batea, queda determinada inmediatamente la geometría del pilar corona.

El diseño de la batea depende de la variante de Panel Caving a implementar en un sector productivo, esto por condiciones de borde que restringen la metodología de construcción de la batea. Para Hundimiento Convencional se tiene un tipo de batea que se construye en dos etapas, la primera desde el Nivel de Producción y la segunda desde el UCL. Para Hundimiento Previo y Avanzado se tiene un tipo de batea especial que es independiente del UCL, y esta batea se construye íntegramente desde el Nivel de Producción.

Criterio de Diseño de Bateas

(1) Criterio Geomecánicos

- Estabilidad del pilar corona efectivo.
- Generar una eficiente interacción entre los puntos de extracción, de tal forma que no se generen bóvedas aisladas (colgaduras).
- Evitar la formación de puntos de apoyo a la altura del apex mayor (evitando generar zonas con mineral estático).
- Reducir los daños al punto de extracción, visera y pilar corona.

(2) Criterios Operacionales

- El diseño geométrico de la batea debe permitir el adecuado flujo del material presente en el sector, de acuerdo a las curvas de fragmentación de diseño.
- La visera de la batea debe contar con un diseño que permita una duración sin daños mayores para toda la vida útil del punto, de acuerdo a la altura de columna del punto de extracción.
- El método constructivo de la batea debe optimizar la perforación y posterior tronadura de la misma, evitando al máximo las pérdidas de perforación y los daños en la visera.
- El sistema constructivo de la batea debe ser lo más sencillo posible, evitando la exposición del personal a riesgos, producto de la caída de rocas desde las caras libres creadas por tronadura.
- Los diseños de las bateas deben adaptarse a las condiciones estructurales particulares de cada sector, siendo necesario en algunos casos diseños de excavación específicos.

- Los diseños deben adaptar la perforación y tronadura de la batea a las características geológicas locales.
- Los diseños de perforación y tronadura deben asegurar la conexión del techo de la batea a la cota del piso del nivel de hundimiento.
- Para el diseño de las bateas, se deben incorporar todos los antecedentes y experiencias sobre el flujo de mineral y metodologías de excavación obtenidas en el Hundimiento Convencional, Hundimiento Previo y Hundimiento Avanzado.
- El diseño y tamaño de batea debe permitir una adecuada operación de los equipos LHD, de acuerdo a la Malla de Extracción de cada sector.

Para el diseño del corte vertical A-A de cada batea, se necesitan conocer los siguientes parámetros.

- Distancia entre calles paralela a la zanja (D_c/z).
- Altura de la Galería Zanja (H_gz).
- Apex (ap).
- Altura de la Visera (H_v).
- Ancho de la Visera (Av).
- Angulo de la Visera (α).
- Angulo del Talud de la Batea (β).
- Distancia entre el centro de la calle al punto de extracción (D_{cpe}).

A partir de los parámetros geométricos de entrada, más el uso de fórmulas de cálculo, se determinan los siguientes parámetros de salida:

- Distancia calle/visera (D_{cv}).
- Altura del Talud de la Batea (H_t).
- Distancia entre Niveles (D_{nn}).
- Ancho del Crown Pillar / Pilar Corona (A_{cp}).
- Altura del Crown Pillar /Pilar Corona (H_{cp}).

Parametrización del Diseño de Batea

Distancia entre calles paralela a la zanja (D_c/z): Esta distancia es determinada cuando se definen los diseños de las mallas de extracción, por ejemplo 17.32 y 20 m.

Distancia calle/visera (D_{cv}): Esta distancia se calcula en base a la suma de la distancia desde el centro de la calle hasta el punto de extracción más el ancho de visera (Av). El

ancho de la visera depende de la variante de Panel Caving a implementar, para Hundimiento Convencional $Av = 1$ m y para Hundimiento Previo y Hundimiento Avanzado $H_v = 0.5$ m (ver fórmula siguiente).

$D_{cv} = D_{cpe} + 1$	[m]	HC
$D_{cv} = D_{cpe} + 0.5$	[m]	HP y HA

En donde:

D_{cv} : Distancia entre el centro de la calle de producción y el extremo de la visera.

D_{cpe} : Distancia entre el centro de la calle de producción y el punto de extracción.

Altura de la Galería Zanja (H_gz): La sección de la galería zanja es función de las dimensiones del equipo LHD y de la normativa legal vigente, que establece distancias mínimas entre el equipo LHD y las cajas / techo de las galerías.

Apex (ap): Los últimos estudios recomiendan un apex lo más mínimo posible. Por ejemplo en Hundimiento Convencional, el apex es equivalente al ancho de la galería del UCL.

Tabla N° 13: Ejemplo Apex algunos sectores.

Dimensión Malla [$D_c/c/2 \times D_z/c$] m	Apex [m]	Referencia
15 x 17.32	3.6	Ten-4 Sur
15 x 20	3.6	Ten-4 Sur
17 x 20	4.0	Diablo Regimiento

Altura de la Visera (H_v): La visera debe ser lo más robusta posible, y como una forma de mejorar su estabilidad se fortifica con cables. La altura de la visera es muy importante en la estabilidad del Pilar Corona, a mayor altura de visera más estable es ésta y viceversa, por ello se recomienda tener la mayor altura de visera posible. No obstante, de acuerdo al tipo de batea a utilizar, a causa de condiciones de borde en la construcción, se tienen alturas de visera menores que lo deseado.

Tabla N°14: Altura de Visera según variante de Panel Caving.

Método de Explotación	Altura de Visera Hv [m]	
	Valor mínimo	Valor máximo
Hundimiento Convencional	7.94	11.40
Hundimiento Previo o Hundimiento Avanzado	4.00	5.41

Angulo de Visera (α): El ángulo de la visera debe ser lo más cercano a 90° , para así reducir la abrasión producto del paso del mineral, además se evita que el Pilar Corona esté expuesto a recibir mayores impactos producto de las caídas de grandes bloques (planchones), ya que se tiene menor cantidad de área expuesta. En la Mina El Teniente el ángulo de Visera a variado entre 81° y 90° , en la tabla N° 15 se muestran los ángulos de visera estandarizados para las distintas variantes de Panel Caving.

Tabla N°15: Angulo de Visera según variante de Panel Caving

Variante de Explotación	Angulo de Visera α
Panel Caving Hundimiento Convencional	82°
Hundimiento Previo o Hundimiento Avanzado	90°

Angulo Talud de Batea (β): Corresponde al ángulo de la pared superior a la visera, pared que recibe el flujo de mineral, este ángulo debe ser mayor que el ángulo de escurrimiento del mineral. Según el Area Tronadura de la División El Teniente, este ángulo debe ser lo más cercano a 45° , de tal forma de favorecer un flujo normal del mineral, evitando generar zonas sin movimiento sobre el Pilar Corona.

Tabla N° 16: Angulo de talud según la variante de Panel Caving

Variante de Explotación	Angulo de Talud β
Panel Caving Hundimiento Convencional	40°
Hundimiento Previo o Hundimiento Avanzado	50°

Parametrización de Bateas

Altura de Talud de Batea (Ht): La altura de Talud para las distintas variantes de Panel Caving se calcula utilizando las siguientes fórmulas, las que están en función de los parámetros de entrada.

Fórmula Altura de Talud en Panel Caving Convencional:

$$Ht = \tan(\beta) \times [Dcv - ap/2 - Hv/\tan(\alpha)]$$

Fórmula Altura de Talud en Hundimiento Previo y Hundimiento Avanzado:

$$Ht = \tan(\beta) \times (Dcv - ap/2)$$

Donde:

- Ht: Altura de Talud Batea.
- β : Angulo Talud Batea.
- Dcv. Distancia calle/visera.
- Hv: Altura de Visera.
- ap: Apex.

Distancia entre los Niveles de Producción y Hundimiento (Dnn): La distancia entre niveles es función de tres parámetros (ver fórmulas). El cálculo de esta distancia se realiza mediante iteraciones, donde se busca evitar valores fraccionarios.

$$Dnn = Hgz + Hv + Ht$$

Donde:

- Hgz: Altura de la galería zanja.
- Hv: Altura de la Visera.
- Ht: Altura de Talud de la Batea.

Ancho del Crown Pillar / Pilar Corona (Acp): El ancho del Pilar Corona equivale a dos veces la distancia entre el centro de la calle y la visera (Dcv).

Altura del Crown Pillar / Pilar Corona (Hcp): La altura del Pilar Corona equivale a la suma entre la altura de visera (Hv) y la altura del talud de la batea (Ht).

$$Acp = 2 \times Dcv$$

$$Hcp = Hv + Ht$$

Diseño Batea Perfil B-B

El perfil B-B es perpendicular a la dirección de la galería zanja. La geometría de este perfil depende del largo del equipo LHD a utilizar, ya que el largo del equipo define la ubicación de los puntos de extracción en la malla.

Para determinar la geometría del perfil B-B se deben conocer los siguientes parámetros.

Distancia entre zanjas perpendicular a la zanja (Dz⊥z): Este parámetro se obtiene de la misma malla de extracción, mediante la siguiente fórmula.

$$Dz_{\perp z} = \text{sen}(60^{\circ}) \times Dz // c$$

Distancia entre bateas perpendicular a la zanja (Dbb): Este parámetro queda definido en el diseño de excavación de la batea (Tiros en Abanico). En la Mina El Teniente, tanto para Hundimiento Convencional como para Hundimiento Previo y Avanzado, esta distancia es 1 m, existiendo algunos casos de 0 y 1.32m.

Tabla N° 17: Distancia entre Bateas o apex menor.

Variante Método de Explotación	Malla Dc⊥c/2 x Dz//c [m]	Distancia entre Bateas [m]
Hundimiento Convencional	15 x 17.32	1
	15 x 20	1.32
Hundimiento Previo y Hundimiento Avanzado	15 x 17.32	0
		1

Angulo pared entre bateas (ω): Este ángulo depende del diseño de excavación de la batea (abanicos de perforación), es consecuencia de los dos primeros parámetros. En la tabla N° 18 se aprecian los ángulos de algunas mallas.

Tabla N° 18: Angulo pared entre Bateas

Variante Método de Explotación	Malla Dc⊥c/2 x Dz//c [m]	Angulo pared Batea
Hundimiento Convencional	15 x 17.32	64°
	15 x 20	61°
Hundimiento Previo y Hundimiento Avanzado	15 x 17.32	70°
		71°

Sección de galería zanja (Agz): Este parámetro es función de la dimensión del equipo LHD y de la normativa legal vigente.

Distancia entre niveles (Dnn): Este parámetro resulta del trazado del corte A-A de la batea para cada una de las mallas a analizar.

Altura de Excavación Etapa 1 (Aex): Corresponde a la altura del Abanico de perforación, medido desde el piso del Nivel de Producción. Para Hundimiento Convencional, la excavación se realiza en dos etapas, los valores para la altura de excavación han sido tradicionalmente 15 m, ya que se ha demostrado en la práctica que esta altura es la más adecuada

VI. Diseño de Bateas y Pilar Corona (Aplicación a un Caso Particular)

Batea para Hundimiento Convencional

Supongamos que se ha determinado aplicar Panel Caving con H. Convencional, por lo que se necesita diseñar una Batea Decahédrica, donde la construcción de ésta se realiza en dos etapas, la primera desde el nivel de producción y la segunda desde el nivel de hundimiento.

Batea para malla de 17 x 20 m con LHD Toro 0011 de 13 yd³

La malla de 17 x 20 m es la más grande que se ha operativizado, esta malla opera con un equipo LHD de 13 yd³. En la tabla N° 19 aparecen los parámetros de entrada estandarizados, así como también los parámetros de salida. La figura N° 32 corresponde a un perfil A-A en la dirección de la galería zanja.

Tabla N° 19: Batea Decahédrica Malla 17 x 20 m LHD Toro 0011.

Parámetros Geométricos de entrada		
Símbolo	Nombre	Valor
Dc/lz	Distancia entre Calles de Producción // Zanja [m]	39.26
Av	Ancho de Visera [m]	1
Dcpe	Distancia centro calle a punto de extracción [m]	11.8
Hgz	Altura de galería zanja [m]	4.0
ap	Ancho Apex aparente - real [m]	4.62 4.00
Hv	Altura de la visera [m]	8.23
α	Angulo de la visera	82°
β	Angulo talud Batea	40°
Parámetros Geométricos de Salida		
Dcv	Distancia entre centro Calle y Visera [m]	12.80
Ht	Altura Talud Batea [m]	7.77
Dnn	Distancia entre NP y UCL [m]	20.00
Acp	Ancho Crown Pillar [m]	25.60
Hcp	Altura Crown Pillar [m]	16.00

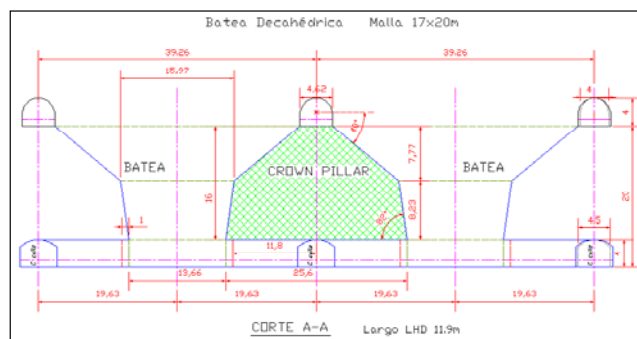


Figura N° 32: Perfil A-A batea Decahédrica con LHD Toro 0011 de 13 yd³.

Ahora corresponde trazar el corte vertical B-B de la batea de 17 x 20 m. En la tabla N° 20 se muestran los parámetros geométricos para el trazado de este perfil y en la figura N° 33 se muestra el perfil B-B.

Tabla N° 20: Parámetros Asociados al perfil B-B con LHD Toro 0011.

Parámetro			Malla Dc/Lc/2 x Dz/lc [m]
			17 x 20
Dnn	Distancia entre Niveles [m]		20
Dz.lz	Distancia entre zanjas perpendicular a la zanja [m]		17.32
Agz	Ancho galería zanja [m]		4.5
Hgz	Altura galería zanja [m]		4.0
Dbb	Distancia entre Bateas [m]		1.32
ω	Angulo pared batea		64°
Hex	Altura de Excavación Abanicos [m]		15

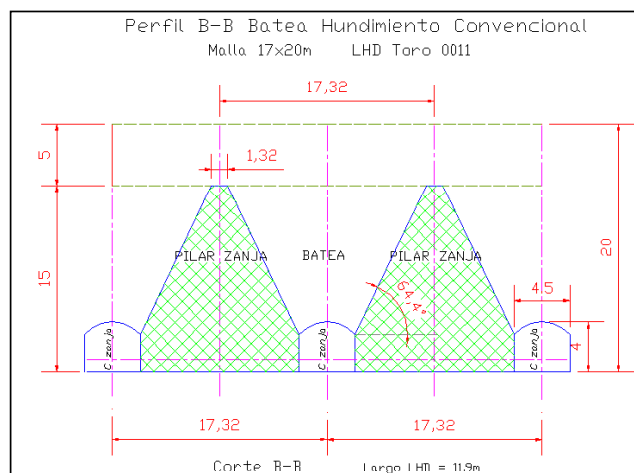


Figura N° 33: Perfil B-B Batea Decahédrica para malla 17 x 20 m y LHD Toro 0011.

Batea para Hundimiento Previo y Hundimiento Avanzado

Ahora supongamos que nuestra malla de extracción será implementada en un sector donde se aplique la variante Hundimiento Previo o Hundimiento Avanzado, de esta forma se necesitará una Batea Tipo Esmeralda, en que la construcción esta batea se hace íntegramente desde el Nivel de Producción, en una sola etapa y en tres fases de tronadura.

Batea para mallas de 17 x 20 m con LHD de 13 yd³

Los parámetros geométricos de entrada como los parámetros de salida se encuentran en la tabla N° 21. La figura N° 34 corresponde a un corte vertical A-A en la dirección de la galería zanja.

Tabla N° 21: Dimensionamiento Batea Tipo Esmeralda Malla 17 x 20 m para LHD Toro 0011.

Parámetros Geométricos de entrada		
Símbolo	Nombre	Valor
Dc/z	Distancia entre Calles de Producción // Zanja [m]	39.26
Av	Ancho de Visera [m]	0.5
Dcpe	Distancia centro calle a punto de extracción [m]	11.8
Hgz	Altura de galería zanja [m]	4.0
ap	Ancho Apex aparente - real [m]	4.62 4.00
Hv	Altura de la visera [m]	5.29
α	Angulo de la visera	90°
β	Angulo talud Batea	47
Parámetros Geométricos de Salida		
Dcv	Distancia entre centro Calle y Visera [m]	12.30
Ht	Altura Talud Batea [m]	10.71
Dnn	Distancia entre NP y UCL [m]	20.00
Acp	Ancho Crown Pillar [m]	24.60
Hcp	Altura Crown Pillar [m]	16.00

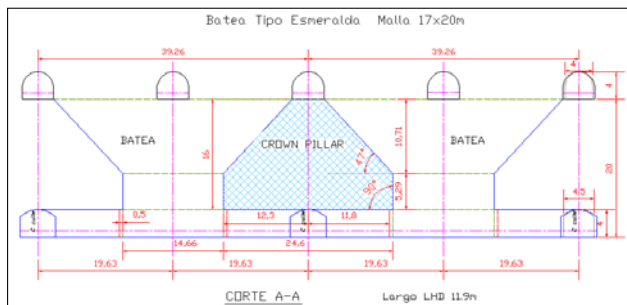


Figura N° 34: Perfil A-A batea Tipo Esmeralda para Malla 17 x 20 m con LHD Toro 0011.

Ahora corresponde el trazado del corte B-B. En la tabla N° 22 se muestra los parámetros geométricos y en la figura N° 35 el trazado del perfil B-B.

Tabla N° 22: Parámetros Asociados al perfil B-B con LHD Toro 0011.

Parámetro		Malla Dc/Lc/2 x Dz/c [m]
		17 x 20
Dnn	Distancia entre Niveles [m]	20
Dz/Lz	Distancia entre zanjas perpendicular a la zanja [m]	17.32
Agz	Ancho galería zanja [m]	4.5
Hgz	Altura galería zanja [m]	4.0
Dbb	Distancia entre Bateas [m]	1
ω	Angulo pared batea	70.8°
Hex	Altura Excavación Abanicos [m]	20

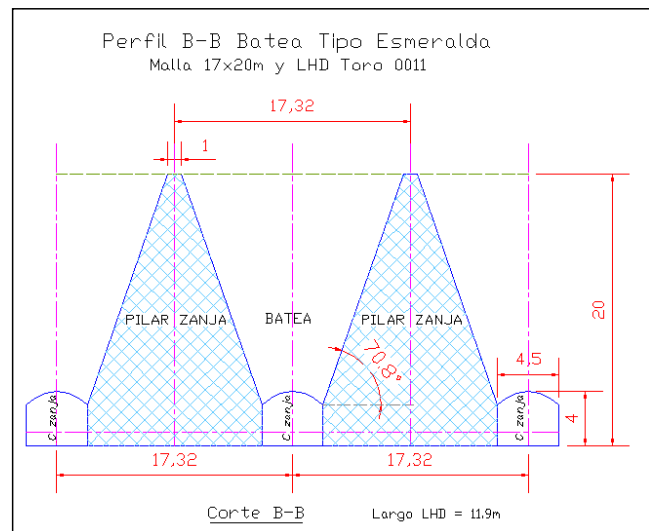


Figura N° 35: Perfil B-B batea Tipo Esmeralda para malla 17 x 20 y LHD Toro 0011.

VII. Reconocimientos

Esta publicación fue realizada en base a la Tesis de Grado para optar al Título de Ingeniero Civil de Minas de Don Juan Carlos Arce Pino, denominada "Dimensionamiento de distancias entre Puntos de Extracción y Niveles de Producción-Socavación, para método Panel Caving en Roca Primaria, Mina El Teniente". Los autores agradecen a la División El

Teniente de Codelco Chile, por las facilidades prestadas para el desarrollo de este trabajo de tesis.

VIII. Referencias

- J. Catalano, R. Molina, "Geometrías de Diseño de Bateas En Panel Caving Variante Hundimiento Previo", pp 11-25 114-117 193-195, Codelco Chile División El Teniente - Universidad de Atacama.
- J. Jofre, P. Yañez, G. Ferguson, "Evolución in panel Caving Undercutting and Drawbell Excavation, El Teniente Mine", Octubre 2000, pp 249-260, MassMin 2000.
- M. Richardson, "Area of Influence and Drawpoint Spacing for Block Caving Mines", 1981, Chapter 13, pp 149-156, Editor R. Stewart, Society of Mining Engineers.
- R. Kvapil, "Sublevel Caving", SME Mining Engineering Handbook, 1992, Chapter 20.2, pp 1790-1814.
- Kvapil & Rudolf, "Mechanism of Caving and Gravity flow Parameters for Improvement of Mining in Primary Ore", 1998, Codelco Chile División El Teniente.
- "Investigación Bibliográfica Comportamiento Flujo Gravitacional", Informe Final P-962025, Octubre 1994, pp 6-12, pp anexa 3 y 37, Centro de Investigación Minero y Metalúrgica CIMM, Codelco Chile División El Teniente.
- A. Susaeta, H. Diaz, "Estado del Arte del Modelamiento del Flujo Gravitacional en Minería por Hundimiento por Bloques", Revista Minerale Vol 55 N° 255, pp17-26.
- D. Laubscher, "Cave Mining - The State of the Art", 2001, Section 9, Chapter 55, pp 459-460, W. Hustrulid, R. Bullock, Underground Mining Methods SME.
- SKM Consultores Ltda, "Informe Técnico Inicio del Hundimiento", Informe DR-MIN-D304, pp 7, Proyecto Diablo Regimiento Fase I Revisión Ingeniería Conceptual, Codelco Chile División El Teniente.
- R. De Nicola, "Análisis de Zanja de Extracción", pp 5-17, Codelco Chile División Salvador.
- J. Jofre, E. Rojas, "Tendencia Histórica Geometrías Pilas Extracción en El Teniente", Informe PL-I-092/99, Diciembre 1999, anexo A, Codelco Chile, División El Teniente.
- J. Chacon, "Block Caving y LHD Reflexiones Sobre Mallas de Extracción", 1980, pp 415-428.
- W. Hustrulid, "Blasting Principles for Open Pit Mining", 1999, Vol1, 129-133, Editor A. A. Balkema Publishers.
- SKM Consultores Ltda, "Informe Técnico Análisis de Malla de Extracción", Informe DR-MIN-D316, Octubre 2000, pp 9-17, Proyecto Diablo Regimiento Fase I Revisión Ingeniería Conceptual Volumen III.
- E. Rojas, M. Aguilar, "Benchmarking y Criterios de Diseño en Crown Pillar", Informe Inédito, PL-I-094/2002, pp 6-8 8-12 15, Superintendencia General Planificación Minco, Codelco Chile División El Teniente.
- P. Yañez, "Malla de Extracción en Panel Caving con uso de Equipos de Gran Tamaño", Ingeniería Conceptual Informe PL-I-082/1998, pp 3-11, Superintendencia Planificación Minco, Codelco Chile División El Teniente.
- Secciones Típicas de la Mina El Teniente", Septiembre 1999, Superintendencia General Planificación Minco, Codelco Chile División El Teniente.
- O. Pasten V, "Informe Estudio Diseños de Zanjias y Socavación en Mina el Teniente", Informe PL-I-069/99, Noviembre 1999, pp 2-15, Ingeniería de Operaciones, PL Minco, Codelco Chile División El Teniente.
- SKM Consultores Ltda, "Análisis de Diseños Alternativos de Bateas", Octubre 2000, DR-MIN-D321, pp 6-10, Proyecto Diablo Regimiento Fase I Revisión Ingeniería Conceptual Volumen III.
- M. Piérola, "Descripción del Proceso de Voladura de Zanjias y Tronadura de Socavación", Area Perforación y Tronadura, Codelco Chile División El Teniente.