



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE MINAS

**PROPUESTA Y EVALUACIÓN DE DISEÑO MALLA DE  
EXTRACCIÓN MIXTA (RECTANGULAR-TRIANGULAR)**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN MINERÍA**

**RENÉ EDUARDO LE-FEAUX CORTÉS**

**PROFESOR GUÍA:  
RAÚL CASTRO RUÍZ**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
ERNESTO ARANCIBIA VILLEGAS  
LUIS ORELLANA ESPINOZA  
ANDRÉS AVENDAÑO FIGUEROA**

**SANTIAGO DE CHILE  
2021**

**RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR  
AL GRADO DE:** Magíster en Minería

**POR:** René Eduardo Le-Feaux Cortés

**FECHA:** 31/05/2021

**PROFESOR GUÍA:** Raúl Castro Ruíz

**PROPUESTA Y EVALUACIÓN DE DISEÑO MALLA DE EXTRACCIÓN MIXTA  
(RECTANGULAR-TRIANGULAR)**

**Resumen**

El tamaño del LHD es uno de los factores más influyentes en el diseño del diseño minero, principalmente debido a la búsqueda constante de mayores capacidades de producción. Sin embargo, el correcto diseño debe considerar otros aspectos que faciliten y garanticen aspectos como; la recuperación del mineral, estabilidad, constructibilidad y operatividad, por nombrar los más relevantes, y es responsabilidad del diseñador buscar el equilibrio entre ambas necesidades.

La experiencia sumada a la teoría, han permitido integrar ambas necesidades obteniendo como resultado una propuesta de diseño minero orientada a la minería de block/panel Caving, lo cual no excluye su posible aplicación a otros métodos de explotación subterránea. Dicho diseño propuesto es evaluado y comparado a un diseño tipo Teniente, en condiciones equivalentes, con el fin de identificar ventajas y desventajas que podría presentar dicha propuesta en comparación a uno de los diseños mineros más utilizados en la minería del block/panel Caving. Evaluado comparativamente el diseño propuesto, en base a las ventajas que este ofrecería, se pueden definir los lineamientos más interesantes para eventualmente orientar futuros estudios e investigaciones más la ruta a seguir para considerar su aplicación a escala industrial.

**Abstract**

The size of the LHD is one of the most influential factors in the design of extraction layout, mainly because of the constant search for greater production capacities. However other aspects need to be considered such as ore recovery, stability, constructability, and operability, postponing geometric aspects of the design related to a better use of the resource to be extracted. Usually, balancing both needs gets complicated since apparently one will always go into the back of the other. Nevertheless, experience and theory has allowed both needs to be integrate resulting from this a into a design proposal for extraction layout oriented to Block/Panel Caving mining. –without excluding its potential conceptual application to other methods of underground exploitation -. The design proposed in this study is compared to a Teniente layout design, under equivalent conditions, in order to identify the advantages and disadvantages that might be present according to one of the most common design in Block/Panel Caving mining, and thus define the procedures to follow to its potential application on an industrial scale.

Dedicado a...

A todos esos seres **especiales, extraños, escasos**, ajenos a un mundo limitante, esos que no ven fronteras para el conocimiento e imaginación, y no se cansan de pensar, buscar, crear, errar, acertar, soñar y luchar por un mundo mejor, esos que muchos mal llaman “locos”, “complicados”, “desadaptados” solamente por ser “busquillas”, y que a veces con nuestras limitaciones pretendemos dejarlos fuera de nuestro mundo simplemente porque no somos capaces de dedicarles parte de nuestro tiempo para entenderlos...

...y así también a aquellos que, a estos seres **especiales, extraños, escasos**, los acompañan con cariño, convicción, comprensión, apoyo y esperanza, sólo esperando ver una sonrisa de satisfacción de ese ser **especial, extraño, escaso**, cuando logra consolidar una de sus locuras...

## Agradecimientos

Desde esa querida abuela, a mi madre, a mi esposa, a los hijos y familiares, amigos, profesores, colegas, todos aquellos que han ido aportando a los pasos que me han llevado a este lugar y estado, quienes de una u otra forma motivan mi andar, en lo académico, lo laboral, lo personal y en la vida como un todo, no hay nombres, porque saben muy bien cuanto los valoro y lo agradecido que estoy y estaré de cada uno de ellos...

Gracias...

## TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	Objetivo .....	3
1.2	Alcance .....	4
2	ESTADO DEL ARTE.....	4
2.1	Conceptos .....	4
2.2	Tipos de MEx .....	5
2.2.1	MEx Cuadrada.....	6
2.2.2	MEx Triangular Tipo Teniente.....	7
2.2.3	MEx Mixta Tipo Henderson .....	9
2.3	Lineamientos de Diseño.....	11
2.4	Selección del Tipo de MEx.....	13
2.4.1	Aspectos Operacionales.....	13
2.4.2	Aspectos Geométricos.....	14
2.4.3	Aspectos Geomecánicos .....	14
2.4.4	Otros Aspectos: .....	14
2.5	Geometría del Operación Típica en una MEx tipo Teniente.....	14
2.6	Conclusiones Sobre el Estado del Arte.....	17
3	DESARROLLO DEL ESTUDIO .....	18
3.1	Hipótesis .....	18
3.2	Concepto de Carguío “No frontal” .....	18
3.3	Propuesta de Diseño MEx Mixta (Rectangular-Triangular).....	21
3.4	Metodología General.....	22
3.5	Lineamientos de Diseño MEx.....	23
3.5.1	Diseño MEx Tipo Teniente .....	24
3.5.2	Diseño MEx Mixta.....	25
3.6	Cubicación de obras.....	25
3.6.1	MEx Tipo Teniente v/s MEx Mixta .....	26
3.6.2	MEx Mixta Operativizada.....	29
3.6.3	MEx Tipo Teniente v/s MEx Mixta Operativizada .....	30
4	EVALUACIÓN COMPARATIVA ENTRE MEX TIPO TENIENTE Y MIXTAS .....	36
4.1	Criterios de Evaluación de MEx .....	36
4.2	Evaluación del Diseño.....	40
5	ESTIMACIÓN DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN .....	49
6	PROGRAMA DE OBRAS .....	50
7	ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE DISEÑOS DE MEX .....	53
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	57
8.1	Conclusiones.....	57
8.2	Recomendaciones.....	61
	BIBLIOGRAFÍA .....	63
	ANEXO A: Cálculo Ciclos y Rendimientos Obras Nivel de Producción .....	64
	Anexo A-1: Desarrollos Horizontales Calles .....	64

Anexo A-2: Desarrollos Horizontales Zanjas.....	66
Anexo A-3: Desquinches.....	68
Anexo A-4: Equivalente en Excavaciones.....	69
Anexo A-5: Fortificación con Cables .....	70
Anexo A-6: Pavimentos.....	72
Anexo A-7: Chimeneas Piloto Bateas .....	72
Anexo A-8: Perforación y Tronadura de Bateas.....	73
ANEXO B: Detalle Programa de Obras.....	76
Anexo B-1: Programa de Obras MEx tipo Teniente .....	76
Anexo B-2: Programa de Obras MEx Mixta Operativizada .....	78
Anexo B-3: Figuras Comparativas Programa Mensual de Obras .....	80
ANEXO C: Autorización para el uso de Información .....	85
ANEXO D: Paper en Preparación para Publicar .....	87

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos a utilizar en diseño comparativo de MEx.....	23
Tabla 2: Cubicación Comparativa MEx .....	28
Tabla 3: Resumen de Cubicación Comparativa MEx .....	28
Tabla 4: Resumen de Cubicación Comparativa MEx por área de influencia.....	29
Tabla 5: Cubicación Comparativa MEx Operativizada .....	34
Tabla 6: Resumen de Cubicación Comparativa MEx Operativizada .....	34
Tabla 7: Resumen de Cubicación Comparativa MEx por área de influencia.....	35
Tabla 8: Normalización de Obras respecto a MEx Teniente .....	35
Tabla 9: Resumen Evaluación Comparativa MEx .....	44
Tabla 10: Evaluación en Base a Estabilidad .....	46
Tabla 11: Evaluación en Base a Productividad .....	46
Tabla 12: Evaluación en Base a Geometría .....	46
Tabla 13: Evaluación en Base a Operación LHD .....	46
Tabla 14: Evaluación sin Priorizar .....	47
Tabla 15: Evaluación Comparativa MEx (DTI = 24 [m]) .....	48
Tabla 16: Efecto en la Evaluación según distintas prioridades (DTI = 24 [m]) .....	48
Tabla 17: Evaluación Comparativa MEx (DTI = 30 [m]) .....	49
Tabla 18: Efecto en la Evaluación según distintas prioridades (DTI = 30 [m]) .....	49
Tabla 19: Obras asociadas a Costos MEx .....	50
Tabla 20: Comparación Costos MEx.....	50
Tabla 21: Resumen Rendimientos para Programa de Construcción.....	52
Tabla 22: Cronograma Mensual de Obras MEx tipo Teniente .....	52
Tabla 23: Cronograma Mensual de Obras MEx Mixta Operativizada.....	52
Tabla 24: Análisis comparativo entre diseños de MEx .....	57
Tabla 25: Resumen de Cubicación Comparativa MEx .....	58
Tabla 26: Comparación Aspecto Económico MEx .....	58

Tabla 27: Evaluación Comparativa Aspectos de Diseño MEx.....	59
Tabla 28: Estimación Ciclo Desarrollo Calles (1/2) .....	64
Tabla 29: Estimación del ciclo para desarrollo de calles (2/2).....	65
Tabla 30: Base para estimación de rendimiento para desarrollo de calles .....	65
Tabla 31: Estimación del rendimiento en desarrollo de calles.....	66
Tabla 32: Estimación del ciclo para desarrollo de zanjas (1/2).....	66
Tabla 33: Estimación del ciclo para desarrollo de zanjas (2/2).....	67
Tabla 34: Base para estimación de rendimiento para desarrollo de zanjas .....	67
Tabla 35: Estimación del rendimiento en desarrollo de zanjas.....	68
Tabla 36: Estimación del ciclo para desquinches (1/2) .....	68
Tabla 37: Estimación del ciclo para desquinches (2/2) .....	69
Tabla 38: Estimación de rendimiento para desquinches .....	69
Tabla 39: Estimación de la cantidad de excavaciones dentro del diseño.....	70
Tabla 40: Estimación del rendimiento para excavaciones.....	70
Tabla 41: Estimación del ciclo para cableado .....	71
Tabla 42: Base para estimación de rendimiento para cableado.....	71
Tabla 43: Estimación del rendimiento en Cableado .....	71
Tabla 44: Estimación del ciclo para chimenea Blind Hole .....	72
Tabla 45: Base para estimación de rendimiento para chimenea Blind Hole .....	73
Tabla 46: Estimación del rendimiento en chimenea Blind Hole.....	73
Tabla 47: Estimación del ciclo para perforación y tronadura de bateas .....	74
Tabla 48: Base para estimación Rendimiento Perforación y Tronadura de bateas.....	74
Tabla 49: Estimación del rendimiento en perforación y tronadura de bateas.....	75
Tabla 50: Obras asociadas a Calle 1, Módulo de referencia MEx tipo Teniente .....	76
Tabla 51: Obras asociadas a Calle 2, Módulo de referencia MEx tipo Teniente .....	77
Tabla 52: Obras asociadas a Calle 1, Módulo de referencia MEx Mixta Operativizada .	78
Tabla 53: Obras asociadas a Calle 2, Módulo de referencia MEx Mixta Operativizada .	79

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1: Desplazamiento de Elipsoides hacia el interior de la Batea .....	1
Figura 2: Diseño Conceptual Acercando los PEx a la Calle de Producción .....	2
Figura 3: Efectos en el carguío con LHD.....	3
Figura 4: Ejemplo MEx tipo Teniente .....	5
Figura 5: Esquema de la Configuración Cuadrangular.....	6
Figura 6: Construcción de la MEx Cuadrada.....	6
Figura 7: Esquema de la Configuración Cuadrangular.....	7
Figura 8: Construcción de la MEx Tipo Teniente.....	8
Figura 9: Configuración Mixta de Elipsoides de Extracción.....	9
Figura 10: Construcción de la MEx Henderson a partir de una Configuración Mixta .....	10
Figura 11: Variante construcción de la MEx a partir de una Configuración Mixta .....	11
Figura 12: Esquema ilustrativo para lineamientos de diseño .....	11
Figura 13: Esquema de MEx en condición de Tiraje Aislado .....	12

Figura 14: Esquema de MEx en condición de Tiraje Semi Aislado .....	12
Figura 15: Esquema de MEx en condición de Tiraje Interactivo.....	13
Figura 16: Maniobra del LHD en MEx Teniente .....	15
Figura 17: Maniobra del LHD en MEx 100% Rectangular .....	15
Figura 18: Base de Diseño para MEx Mixta (R/T).....	16
Figura 19: Esquema del principal objetivo de estudios en bibliografía .....	17
Figura 20: Diseño experimental con carguío “no frontal” en Punto de Extracción.....	18
Figura 21: Detalle diseño experimental Punto de Extracción .....	19
Figura 22: Detalle diseño experimental Sección transversal.....	19
Figura 23: Detalle diseño experimental Sección longitudinal e isométrico .....	19
Figura 24: Ejemplo de aplicación modificando MEx Tipo Tte. y Espina de Pescado .....	19
Figura 25: Ejemplo de aplicación con Chancador Sizer .....	20
Figura 26: Esquema de cálculo para proyección del Talud.....	24
Figura 27: MEx Tipo Teniente .....	24
Figura 28: MEx Mixta .....	25
Figura 29: Excavaciones Sección 4,8 x 4,5 [mxm].....	26
Figura 30: Excavaciones Sección 4,4 x 4,3 [mxm].....	26
Figura 31: Excavaciones Desquinches en Esquinas.....	26
Figura 32: Fortificación Perno – Malla.....	26
Figura 33: Fortificación Shotcrete.....	27
Figura 34: Fortificación con Cables .....	27
Figura 35: Construcción de Puntos de Extracción.....	27
Figura 36: Pavimentos .....	27
Figura 37: Muros de Contención .....	28
Figura 38: MEx Mixta Operativizada .....	29
Figura 39: Excavaciones Sección 4,8 x 4,5 [mxm] MEx Mixta Operativizada .....	30
Figura 40: Excavaciones Sección 4,4 x 4,3 [mxm] MEx Mixta Operativizada .....	30
Figura 41: Excavaciones Desquinches en Esquinas MEx Mixta Operativizada .....	30
Figura 42: Fortificación Perno – Malla MEx Mixta Operativizada .....	30
Figura 43: Fortificación Shotcrete MEx Mixta Operativizada .....	31
Figura 44: Fortificación con Cables MEx Mixta Operativizada .....	31
Figura 45: Construcción de Puntos de Extracción MEx Mixta Operativizada.....	31
Figura 46: Pavimentos MEx Mixta Operativizada.....	31
Figura 47: Muros de Contención MEx Mixta Operativizada .....	32
Figura 48: Perforación Batea.....	32
Figura 49: Excavación Batea.....	32
Figura 50: Geometrías 3D Diseño de Bateas MEx Tipo Teniente.....	33
Figura 51: Geometrías 3D Diseño de Bateas MEx Mixta Operativizada .....	33
Figura 52: Disposición de Bateas en Área referencial de estudio .....	33
Figura 53: Esquema de Evaluación comparativa entre MEx.....	36
Figura 54: Ilustración de Áreas asociadas a 2 PEx .....	36
Figura 55: Áreas asociadas al pilar generado por 2 PEx (Geometrías equivalentes) ....	37



Figura 56: Esquema para el cálculo del Efecto Dilución .....	37
Figura 57: Esquema de MEx Equilátera.....	38
Figura 58: Esquema para el cálculo de la Distorsión en la MEx.....	38
Figura 59: Esquema para el cálculo de la Anisotropía .....	38
Figura 60: Esquema para el cálculo de la Holgura de la MEx.....	39
Figura 61: Esquema para el cálculo de la Luz Máxima.....	39
Figura 62: Comparación entre Diseños (DTI = 24 [m]).....	47
Figura 63: Comparación entre Diseños (DTI = 30 [m]).....	48
Figura 64: Obras mes 1.....	80
Figura 65: Obras mes 2.....	80
Figura 66: Obras mes 3.....	80
Figura 67: Obras mes 4.....	80
Figura 68: Obras mes 5.....	81
Figura 69: Obras mes 6.....	81
Figura 70: Obras mes 7.....	81
Figura 71: Obras mes 8.....	81
Figura 72: Obras mes 9.....	82
Figura 73: Obras mes 10.....	82
Figura 74: Obras mes 11.....	82
Figura 75: Obras mes 12.....	82
Figura 76: Obras mes 13.....	83
Figura 77: Obras mes 14.....	83
Figura 78: Obras mes 15.....	83
Figura 79: Obras mes 16.....	83
Figura 80: Obras mes 17.....	84
Figura 81: Obras mes 18.....	84

## 1 INTRODUCCIÓN

Hoy en día uno de los factores más influyentes en los diseños de mallas de extracción (MEx), es el tamaño del equipo LHD. Sin embargo, el diseño de las MEx debiera considerar principalmente aspectos relacionados con la recuperación, estabilidad, dilución, interacción entre elipsoides, es decir la geometría del área de extracción y los resultados productivos de la aplicación del diseño respectivo.

La búsqueda de obtener mayores productividades induce a buscar el gigantismo con equipos cada vez de mayores capacidades. Al considerar dichos equipos, y el mayor espacio posible para maniobrar (Laubsher, 1994), manteniendo el criterio de que el carguío debe ser con el equipo recto y no torcido (por los efectos que podría tener en la articulación), es que la ubicación del punto de extracción (PEx), como base del elipsoide de extracción, debe ser desplazada hacia el interior de la batea, generándose un distanciamiento entre los elipsoides de extracción enfrentados respecto a la calle (figura 1).

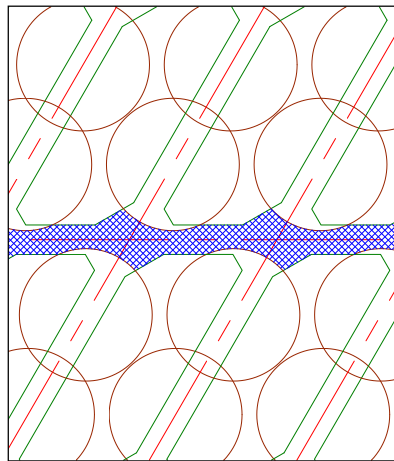


Figura 1: Desplazamiento de Elipsoides hacia el interior de la Batea

La combinación de estos factores (equipos de gran tamaño y geometría del área a explotar), teóricamente no permitiría aprovechar óptimamente el recurso (ni el mineral, ni al equipo).

Por parte del mineral, el hecho de que se genere una mayor área (y volumen) de mineral sobre el Crown Pillar, se traduciría en una mayor altura de interacción entre elipsoides, produciéndose una menor interacción entre PEx enfrentados (en su base), disminuyendo la recuperación del método y mucho más relevante es que se generaría una mayor sobrecarga de material inmóvil sobre la calle.

Por parte del equipo, el hecho de que el LHD tenga que:

- Maniobrar para acceder al PEx, tratando de quedar recto,
- Ejercer fuerza sobre un talud enfrentado,
- “Cucharear” contra la columna de mineral, para cargar el balde, y
- Maniobrar para retirarse,

Requieren de energía y tiempo dentro del ciclo, por lo que, si en esta parte de la operación pudiéramos mejorar las condiciones de carga para el equipo, obtendríamos un mejor aprovechamiento del recurso.

La incorporación de sistemas semiautomáticos al proceso de carguío y transporte (Uribe 2012) hace necesario contar con áreas de operación más expeditas, para aprovechar las ventajas de dichos sistemas, como por ejemplo el no requerir cambiar de sentido para cargar en los PEx, que dentro del ciclo podría significar de 20 a 40 minutos dentro de un turno de 12 horas, datos en proceso de investigación (Le-Feaux 2019-2020), además estudios realizados respecto a la operativización del acceso al PEx, en base a simulaciones de producción (en diseños de MEx típicas), indican que se podría llegar a incrementos de productividad en el orden del 30%, considerando que el LHD sigue ingresando al PEx, lo cual se lograría aumentando el volumen de desquinche en los accesos (principalmente en la esquina aguda de los pilares), sin afectar de significativamente la estabilidad del sector, por lo cual el diseño de MEx Mixta podría incluso mejorar ese incremento de productividad de los equipos al no tener que ingresar al PEx (R.E. Gómez, et al, 2019).

Según pruebas de validación de sistemas semiautónomos LHD en minas actualmente en operación, el tiempo asociado al proceso de carga es aproximadamente 40 [seg] por ciclo (Le-Feaux 2019-2020) y el efecto de disminuir la cantidad de maniobras en la carga está en proceso de investigación.

En el presente trabajo se presenta una propuesta, que permitiría mejorar las condiciones de operación de los equipos LHD en un área de explotación, como primer paso un cambio de diseño en la geometría del acceso al PEx, y posteriormente generar un nuevo diseño de MEx, permitiendo que con este nuevo diseño el PEx pueda acercarse a la calle, sin que el talud de mineral interfiera con ella, de modo que el LHD no necesite ingresar al PEx, si no que le baste variar levemente su dirección y cargar por el lado del talud, como se ilustra en las siguientes figuras. Así el objetivo es evaluar un “diseño” de MEx mixta (rectangular-triangular), con ángulo recto entre calle y galería de zanja, y compararlo en igualdad de condiciones, con el diseño tipo Teniente en que las calles se empalman con las galerías de zanja en 60°.

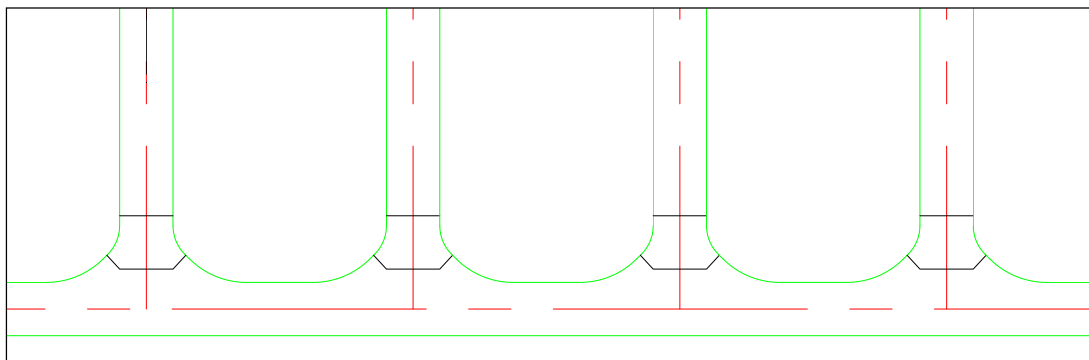


Figura 2: Diseño Conceptual Acercando los PEx a la Calle de Producción



compararlo en condiciones equivalentes, con el diseño tipo Teniente en que las calles se empalman con las galerías de zanja en 60°.

## 1.2 Alcance

Como alcance se definió proponer un diseño de MEx, y evaluarlo al compararlo bajo supuestos equivalentes con una MEx tipo Teniente (la más utilizada en minería de BC/PC), observando (desde el punto de vista del diseño), las ventajas y desventajas que podría ofrecer esta propuesta, siendo este el alcance del estudio. Disponiendo de los resultados de esta tesis, quedarán abierta las opciones de ampliar los estudios con mayor detalle de cada uno de los elementos que componen el diseño, que se estime sea necesario para validarlo, ya sea en condiciones de laboratorio o también en condiciones de operación en terreno.

## 2 ESTADO DEL ARTE

### 2.1 Conceptos

De la bibliografía consultada (Arce 2002), la planta de una MEx define la geometría del Nivel de Producción en una explotación tipo Block/Panel Caving, y queda definida por las Calles de Producción, las Galerías Zanjas y el ángulo generado entre estas calles/zanjas.

- **Calles de Producción (CP):** Serie de galerías paralelas y separadas una distancia predefinida, y constituyen labores de tráfico por donde circulan los equipos de carguío (LHD u otro), con el fin de transportar el mineral extraído desde los PEx que proviene del nivel de hundimiento. Su orientación está definida por lineamientos geomecánicos del área a explotar, de modo de garantizar su estabilidad.
- **Galerías de Zanjas (GZ):** Galerías cortas que se entrelazan con las calles de producción, en un ángulo definido.
- **Ángulo Calle/Zanja (°CP/GZ):** Ángulo generado entre los ejes de las CP y los ejes de las GZ, y se define en función de la capacidad de los equipos de carguío (LHD u otro), para acceder al PEx, con el mínimo de maniobras. Otros aspectos que podrían influir en la definición de este ángulo son las condiciones de estabilidad de las labores en base a las estructuras geológicas dominantes en el sector, lo que podría hacer recomendable que dicho ángulo no necesariamente favorezca la operación, sino que le de mayor relevancia a la estabilidad de nivel.
- **Bateas:** Excavación semejante a una tolva, cuya función es recibir el mineral quebrado proveniente del nivel superior (de hundimiento en el caso de Block/Panel Caving, o de un caserón en otros casos). En el caso de los métodos de hundimiento cada batea posee dos puntos de extracción ubicados uno en cada extremo de ella.
- **Punto de Extracción (PEx):** Excavación donde el mineral queda disponible para ser extraído desde la base de la batea.
- **Puntos de Vaciado (PVa):** Destino del material extraído desde el PEx, para ser conducido hacia otra área de la mina. Es parte del sistema de manejo de materiales. En el caso de que el equipo de carguío se complementa con un equipo de transporte (LHD-Camión por ejemplo), el punto de vaciado pasa a ser el mismo equipo de transporte.
- **Piques de Traspaso (PTr):** Excavación o conjunto de excavaciones verticales o sub-verticales, que conducen gravitacionalmente el material desde el PVa,

continuando con la secuencia del sistema de manejo de materiales. En un sistema de piques de traspaso pueden intercalarse otros elementos que son parte del sistema de manejo de materiales, como un área de parrillas y reducción secundaria. El sistema completo termina por lo general en otro elemento de carguío como un buzón, por ejemplo.

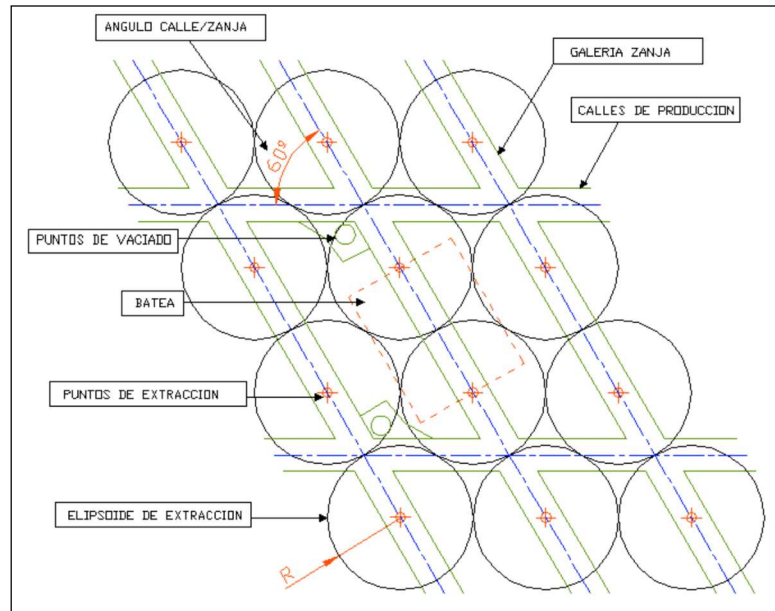


Figura 4: Ejemplo MEx tipo Teniente

En una MEx el radio de influencia de los elipsoides de extracción define la distancia entre las calles de producción y la distancia entre galerías zanja. El que las MEx sean más espaciadas una de otras, dependerá de que tanto los elipsoides se traslapen.

## 2.2 Tipos de MEx

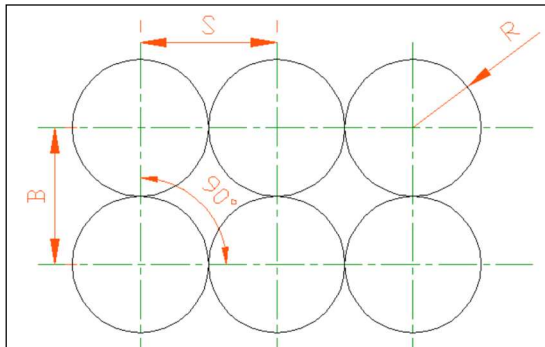
De la bibliografía consultada (Arce 2002, en que se resume la revisión bibliográfica sobre este tema), se conocen tres tipos de MEx las cuales son:

- (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 es 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.

A continuación, se indica un breve análisis de cada una de estas mallas, señalando su base teórica de diseño, distribución geometría de calles de producción y de galerías zanja, características particulares, ventajas y desventajas.

### 2.2.1 MEx Cuadrada

Basada en cuadrados y/o rectángulos, su diseño radica en disponer los elipsoides de extracción en una Configuración Cuadrangular de elipsoides de extracción. Dada la forma en que estos elipsoides se disponen, el ángulo que se forma entre sus ejes es de  $90^\circ$ , ya sea que los elipsoides estén separados, tangentes, o traslapados.



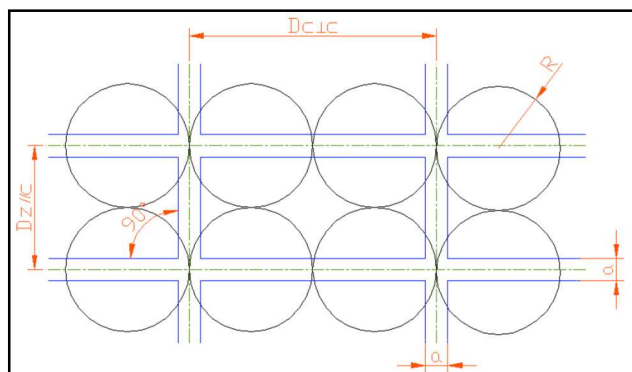
Donde:  
R: Radio Elipsoide de Extracción.  
S: Distancia entre centros elipsoides de una fila.  
B: Distancia entre filas de elipsoides.

Figura 5: Esquema de la Configuración Cuadrangular

En base a la configuración cuadrangular de elipsoides, se puede desarrollar teóricamente una MEx para ser aplicada en métodos Block/Panel Caving.

La forma como se realiza dicho trazado es la siguiente:

- El eje de los centros de las filas horizontales de elipsoides será el eje de las GZ.
- El eje de las CP pasará entre el contacto de filas verticales de elipsoides cada dos filas, de manera que el  $\angle CP/GZ$  sea de  $90^\circ$ .
- Trazar los contornos de las calles de producción y de las galerías zanjadas, según el ancho proyectado (a).



Donde:  
R: Radio Elipsoide de Extracción.  
DC1C: Distancia entre CP.  
DZ1C: Distancia entre GZ.  
a: Ancho CP y GZ.

Figura 6: Construcción de la MEx Cuadrada

#### Ventajas:

- Para Block/Panel Caving, esta malla presenta una geometría simple, ya que cuenta con dos direcciones de galerías, (CP y GZ).
- Apropia para Block/Panel Caving con fragmentación fina.
- Favorece el uso de sistemas manuales (Buitras) o semi-mecanizados (Scraper), en donde la malla cuadrada ha dado buenos resultados operacionales.

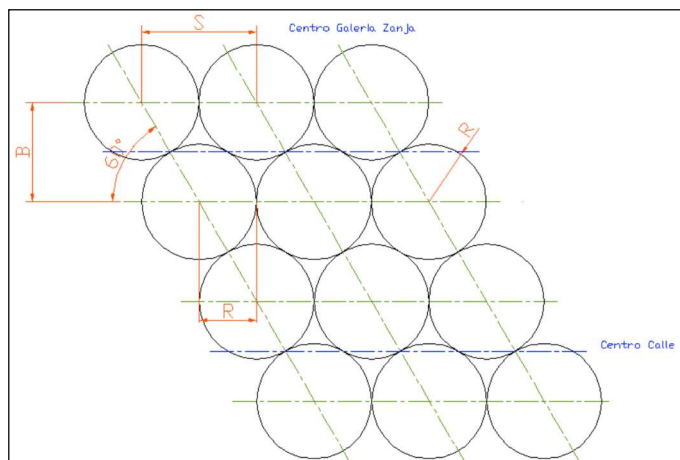
- En el caso de la minería continua presenta ventajas importantes para su aplicación, considerando los equipos diseñados para ello.

#### Desventajas:

- Para Block/Panel Caving, dificulta la operación de un sistema mecanizado de extracción (LHD), que tendrían serias dificultades para operar debido a los radios de giro y geometría de los equipos, generando bajas productividades.
- Uso limitado de este diseño, sólo existe experiencia de aplicación en Block Caving, no existen aplicaciones de esta malla en el método Panel Caving, los únicos antecedentes son estudios de Ingeniería Conceptual (Proyecto Diablo Regimiento, marzo 2000).

### 2.2.2 MEx Triangular Tipo Teniente

Tiene su origen en mina El Teniente de Codelco Chile. La razón para implementar este diseño se debió al agotamiento de las reservas de mineral secundario, el resto de las reservas explotables se encontrarían en roca primaria, la que presenta una fragmentación más gruesa, y para dar solución a este problema, se mecanizó el proceso de extracción, incorporando equipos LHD. Su aplicación se inicia en el año 1982 con la puesta en operación del sector Ten-4 Sur, representando un gran quiebre tecnológico. El diseño se basa en una Configuración Triangular de elipsoides de extracción.



Donde:  
 R: Radio Elipsoide de Extracción.  
 S: Distancia entre centros de elipsoides.  
 B: Distancia entre filas diagonales elipsoides.

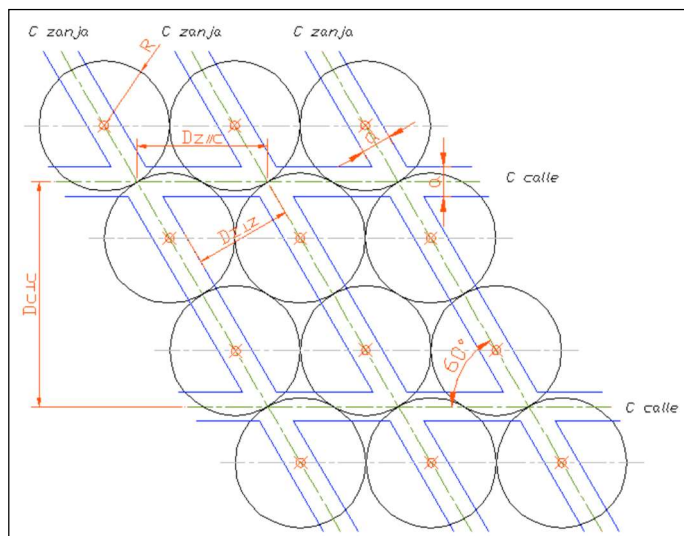
Figura 7: Esquema de la Configuración Cuadrangular

La segunda fila de elipsoides se desplaza una distancia equivalente a un radio (R) respecto a la fila anterior, lo que hace que los ejes que pasan por los centros de los elipsoides de filas vecinas queden inclinados en un ángulo de 60°.

Los pasos para trazar la MEx Tipo Teniente son los siguientes:

- Los ejes de las CP se trazan entre dos filas horizontales de elipsoides, el siguiente eje se traza paralelo al primero cada dos filas de elipsoides.
- Los ejes de las GZ se trazan a través del centro de los elipsoides, en la dirección de una fila diagonal de elipsoides, estos coinciden con los ejes diagonales de los elipsoides de extracción.
- Trazar las líneas de contorno de las CP, en función del ancho proyectado (a).
- Trazar las líneas de contorno de las Zanjas, en función del ancho proyectado (a).





Donde:  
 R: Radio Elipsoide de Extracción.  
 DC.LC: Distancia entre CP, medida perpendicularmente entre CP.  
 DZ//C: Distancia entre GZ, medida paralelamente entre CP.  
 DZ.LZ: Distancia entre GZ, medida perpendicularmente entre GZ.  
 a: Ancho CP y GZ. No necesariamente iguales.

Figura 8: Construcción de la MEx Tipo Teniente

### Características de la MEx Tipo Teniente:

- El  $\angle$ CP/GZ es de  $60^\circ$ .
- Las GZ se disponen una frente a otra, alineadas según una misma dirección, cada una de ellas se comunica con un PEx en la batea.
- La distancia entre CP y la distancia entre GZ es función del radio del elipsoide (R).
- La sección de las CP y de las GZ, se definen en base a lineamientos geomecánicos y operacionales.

### Ventajas:

- Posee una geometría simple, contemplando dos direcciones de galerías.
- Se utiliza de manera eficiente en el espacio disponible, es decir se aprovecha parte de la GZ del frente, para la operación de carguío, el LHD enfrenta el talud de mineral en forma recta.

### Desventajas:

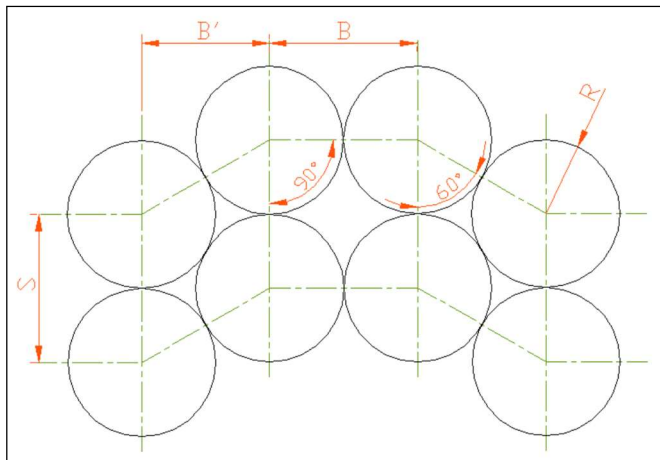
- El equipo LHD debe operar según el rumbo la GZ, la visera de la batea debe ser perpendicular a dicho rumbo, para permitir que el LHD opere simétricamente en el punto de extracción, de otro modo quedaría un lado del balde más adentro que el otro.
- Hay que establecer que esta disposición posee el inconveniente de aumentar el ciclo de carguío del LHD, afectando en forma directa la productividad de la extracción, ya que este debe hacer maniobras adicionales para cambiar de posición cuando opera en GZ de distinto lado de la CP (Debe invertir su sentido de tránsito), lo cual obliga a requerir de frontones de inversión en las cercanías u obras adicionales de excavación para permitir las maniobras de inversión de un equipo. Con la tendencia a aumentar las capacidades de los equipos estas excavaciones para invertir el equipo deben ser cada vez más grandes.
- El que los pilares cuenten con ángulos agudos en su geometría, disminuye el área efectiva del pilar.
- Los desquinces necesarios para la maniobrabilidad de los equipos hacen que en la intersección CP con GZ se genere una luz importante.

- Si bien es una geometría simple, el hecho de que el  $\angle CP/GZ$  no sea de  $90^\circ$ , genera una asimetría en las intersecciones que complican las maniobras durante su construcción.

### 2.2.3 MEx Mixta Tipo Henderson

Tiene su origen en la mina "Henderson Mine", Estado de Colorado, USA. Más tarde, luego de la estandarización de este diseño, su aplicación se extendió a otras minas a nivel mundial.

La Configuración Mixta de elipsoides de extracción (una parte triangular y otra cuadrada/rectangular), es su base de diseño.



Donde:

R: Radio Elipsoide de Extracción.

S: Distancia entre centros elipsoides de una fila vertical.

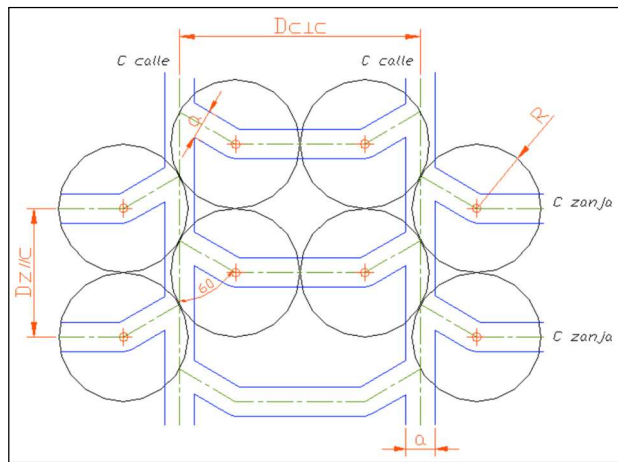
B: Distancia horizontal entre centros elipsoides de una fila horizontal.

B': Distancia horizontal entre centros elipsoides de una fila diagonal.

Figura 9: Configuración Mixta de Elipsoides de Extracción

Para diseñar esta MEx se considera los siguiente:

- Los ejes de las CP se trazan entre dos filas de elipsoides, el siguiente eje se traza paralelo al primero cada dos filas de elipsoides, esta separación corresponde a la distancia entre CP ( $DC \perp C$ ).
- Los ejes de las GZ se trazan a través de los centros de los elipsoides de una misma fila, para seguir diagonalmente hasta hacer contacto con el eje de las CP, el siguiente eje se traza cada una fila de elipsoides, esta separación corresponde a la distancia entre GZ ( $DZ // C$ ).
- Trazar las líneas de contorno de las CP, en función del ancho proyectado (a).
- Trazar las líneas de contorno de las GZ, en función del ancho proyectado (a).



Donde:  
 R: Radio Elipsoide de Extracción.  
 DC⊥C: Distancia entre CP.  
 DZ//C: Distancia entre GZ.  
 a: Ancho de Galerías.

Figura 10: Construcción de la MEx Henderson a partir de una Configuración Mixta

### Características de la MEx Tipo Henderson:

- Se pueden utilizar equipos LHD diésel y eléctrico, dado que los accesos a las galerías zanjas tienen el mismo sentido.
- A diferencia de la MEx Tipo Teniente, las GZ se disponen a lo largo de las CP en dos direcciones, en una disposición de "Espina de Pescado".
- El °CP/GZ puede variar según los requerimientos.

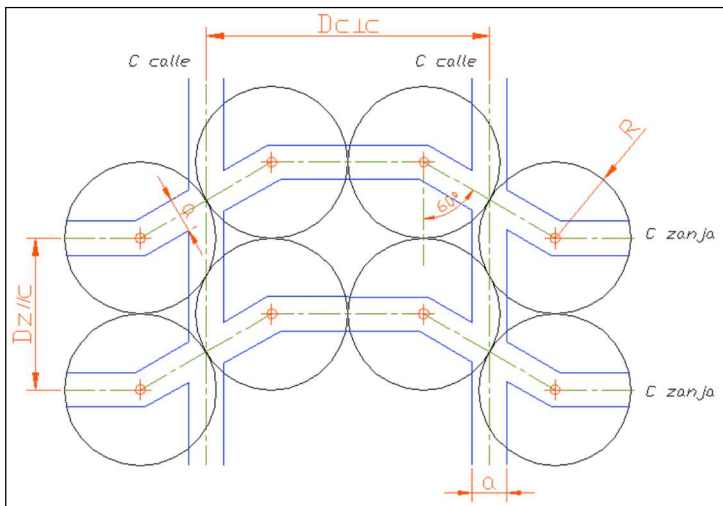
### Ventajas:

- La operación de carguío se hace en una sola dirección, evitando que el LHD cambie de sentido para cargar mineral en la zanja del frente.
- El uso de equipos LHD eléctricos, los cables de alimentación están extendidos en una línea recta, lo que implica menores daños a los cables.

### Desventajas:

- Si los desarrollos no quedan bien contruidos, existe una alta probabilidad de generar problemas de estabilidad en los pilares.
- La orientación de esfuerzos puede generar mayores daños en un lado de los pilares más que en el otro.
- El desarrollo de este tipo de malla es complejo, ya que su geometría presenta cuatro direcciones de galerías, ocasionando un aumento del costo y plazo del área a desarrollar.
- Este diseño presenta singularidades geométricas, debido a que quedan puntas de diamante entre las zanjas, lo que genera problemas de estabilidad y dificultades para fortificar esas zonas.
- El espacio para la operación de carguío es menor que en la MEx Tipo Teniente, dado que las GZ no están enfrentadas, de manera que el equipo LHD no puede introducir la parte trasera en la GZ del frente.

Un caso especial es la variante en que la dirección de un par de galerías zanjas cambian de orientación, quedando enfrentadas unas con otras, y con ello la operación del LHD se vería afectada, ya que tendría que cambiar de sentido para cargar en la GZ del frente, con el beneficio de que durante la operación de carguío el LHD puede ingresar la "cola" en la GZ del frente.



Donde:  
 R: Radio Elipsoide de Extracción.  
 DC⊥C: Distancia entre CP.  
 DZ//C: Distancia entre GZ.  
 a: Ancho de Galerías.

Figura 11: Variante construcción de la MEX a partir de una Configuración Mixta

### 2.3 Lineamientos de Diseño

De la bibliografía consultada (Le-Feaux 2012D) los principales lineamientos utilizados en el diseño de MEX incluyen principalmente aspectos geométricos, tanto de las excavaciones como de los equipos potencialmente utilizables. Se consideran los siguientes datos para el diseño:

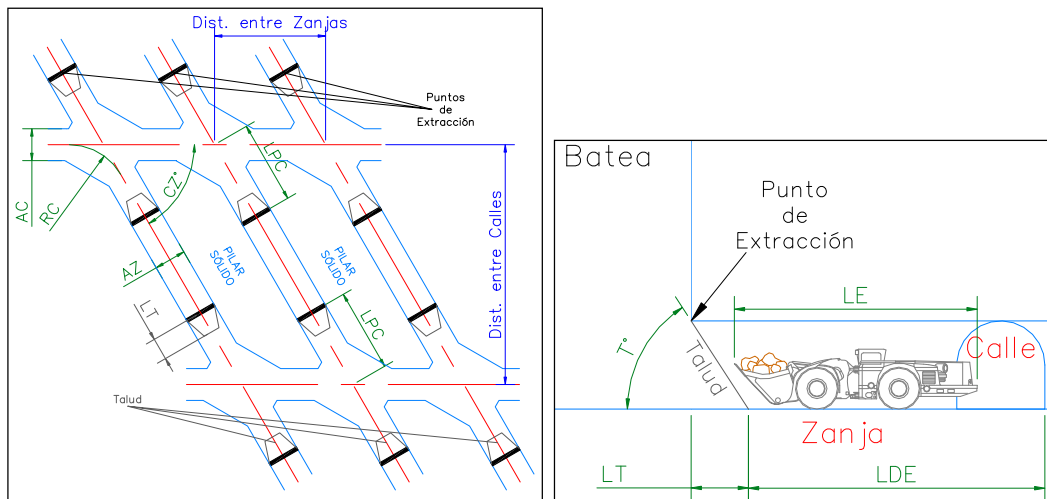


Figura 12: Esquema ilustrativo para lineamientos de diseño

El concepto de mayor importancia en la evaluación de una MEX dice relación con la condición de que tenga para garantizar que no se genere tiraje aislado de los PEX, ya que la recuperación global del área a explotar dependerá de que haya interacción en el tiraje. Al generarse tiraje aislado se compromete la recuperación del sector explotado, y con ello se favorece la generación de cargas puntuales sobre el nivel de producción, con lo cual el diseño de excavaciones y su sostenimiento queda comprometido a un mayor riesgo de colapsos y con ello a una mayor probabilidad de pérdida de área activa.

Para evitar la generación de tiraje aislado, debe garantizarse que los PEX queden ubicados de tal forma que se produzca la interacción de sus elipsoides de extracción, por

lo que la principal referencia para la disposición de los PEX será el diámetro de tiraje interactivo (DTI).

La condición de tiraje aislado ocurre cuando todos los PEX se ubican relativamente entre sí a una distancia mayor que el DTI definido para la zona a explotar, en que se genera un elipsoide de extracción de menor diámetro, y donde los espacios que quedan entre los canales de flujo mineral podrían generar cargas puntuales sobre el nivel de producción, en galerías de zanja, calles y pilares.

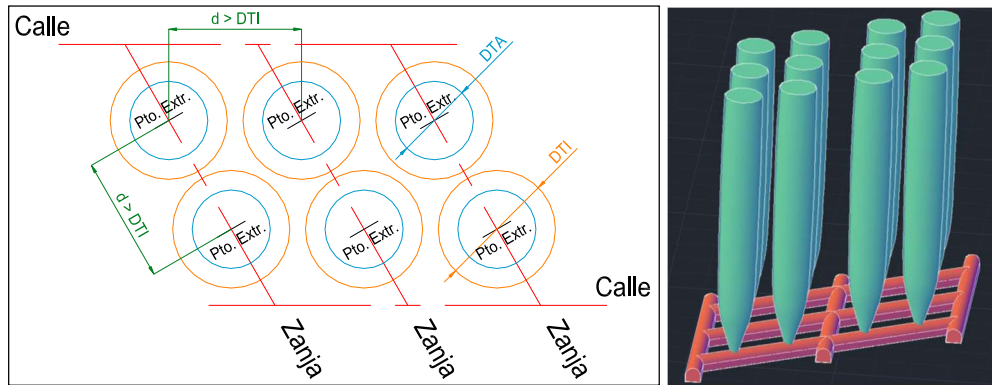


Figura 13: Esquema de MEX en condición de Tiraje Aislado

La condición de tiraje semi aislado, ocurre cuando los PEX se ubican relativamente entre sí a una distancia mayor que el DTI definido para la zona a explotar, en la dirección de la calle (separación entre zanjas), y a una distancia igual o menor al DTI en la dirección de la galería de zanja, en donde se consigue la interacción de los PEX. En este caso se aprecia que el efecto que tiene sobre la recuperación del sector es menor que en el caso de tiraje aislado, y los espacios que quedan entre los canales de flujo mineral sólo podrían generar cargas puntuales sobre las calles y pilares del nivel de producción.

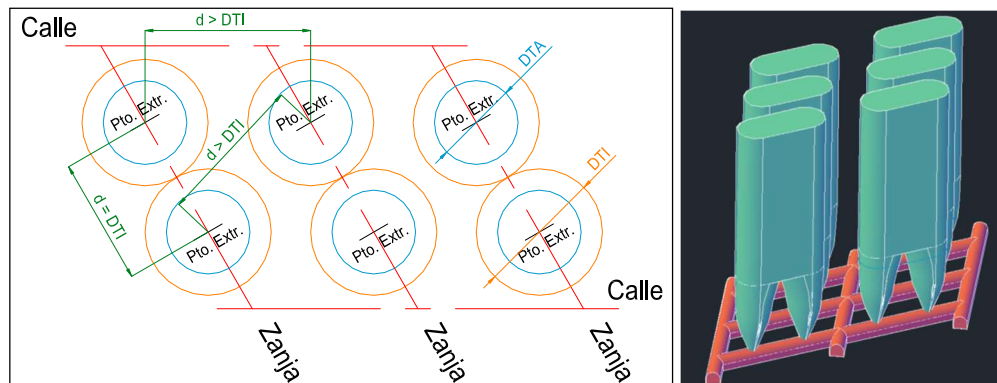


Figura 14: Esquema de MEX en condición de Tiraje Semi Aislado

La condición de tiraje interactivo ocurre cuando los PEX se ubican a una distancia al menos igual que el DTI definido para la zona a explotar, tanto en la dirección de la calle (separación entre zanjas) como en la dirección de la galería de zanja, consiguiéndose la interacción de los PEX. En este caso se aprecia que el efecto que tiene sobre la recuperación del sector es la mínima esperada, y los espacios que quedan entre los canales de flujo mineral sólo podrían generar cargas puntuales sobre las calles donde el pilar asociado es mayor.

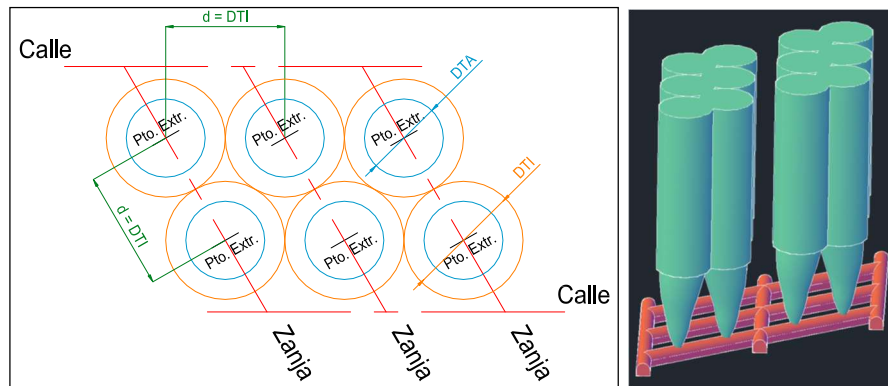


Figura 15: Esquema de MEx en condición de Tiraje Interactivo

## 2.4 Selección del Tipo de MEx

La selección de la MEx (Arce 2002, Laubscher 1994), se realiza en base a los requerimientos necesarios para implementar el método de explotación respectivo, para lo cual se comparan cada uno de los diseños aplicables, y posteriormente evaluar comparativamente el que se adapta mejor a las condiciones del proyecto, debiendo satisfacer aspectos:

- Operacionales.
- Geométricos.
- Geomecánicos.
- Otros.

### 2.4.1 Aspectos Operacionales

La importancia de los aspectos operaciones radica en que la mayoría de las veces, la selección de uno u otro tipo de MEx es definido por ellos. Estos aspectos se pueden resumir en los siguientes:

- **Experiencia práctica de aplicación:** Dice relación a la frecuencia en que se ha materializado un diseño a lo largo del tiempo y cuan vigente se encuentra. Por lo general la tendencia de repetir diseños exitosos aplicados en distintas faenas, va en contra de experimentar con nuevos diseños.
- **Grado de mecanización en la extracción de mineral:** Principalmente orientado a la capacidad para compatibilizar un sistema de extracción basado en equipos LHD.
- **Libertad de operación de equipos:** En algunos diseños los equipos deben invertir su sentido para poder cargar en la GZ opuesta. También se debe incluir en este análisis la opción de utilizar equipos eléctricos (con cables, baterías, trolley, mixtos, etc.) y también sistemas automáticos o semi autónomos, como también equipos de mayor envergadura y por qué no la implementación de minería continua u otros sistemas de extracción distintos a los equipos LHD.
- **Productividad del Sistema de Extracción:** Debe privilegiarse un diseño que permita lograr mayores productividades con diseños que permitan una adecuada operación de dichos sistemas.
- **Actividades Complementarias:** El diseño debe permitir la correcta ejecución de actividades como la reducción secundaria, limpieza de vías, protección y mantenimiento de infraestructura.

## 2.4.2 Aspectos Geométricos

La importancia de la geometría dice relación principalmente con la constructibilidad y la disposición espacial del diseño, como también con la recuperación de las reservas a explotar. Estos aspectos se pueden resumir en los siguientes:

- **°CP/GZ:** El ángulo en que se disponen las galerías, condiciona la maniobrabilidad de los equipos durante la construcción y operación, la necesidad de mayores o menores excavaciones de ajuste (desquinches).
- **Espaciamiento entre galerías:** Asociado al diámetro de los elipsoides y al grado de interacción que se pretende lograr para una mayor recuperación del método de explotación.
- **Geometrías de pilares:** Condicionado por las distancias a las cuales se disponen las galerías y a los ángulos que generan entre ellas. Cabe destacar que en función de esta disposición los pilares tendrán distinto comportamiento pudiendo tener una misma área geométrica pero distinta respuesta a solicitaciones (pilar efectivo).
- **Singularidades:** Estas condicionan principalmente las condiciones de construcción, pudiendo requerir mayores recursos tanto para su materialización como para su mantenimiento (puntas agudas, quiebres, sostenimiento por luces mayores).

## 2.4.3 Aspectos Geomecánicos

Sin duda el diseño y aplicación de éste, queda muy condicionado por las restricciones geomecánicas del área a explotar, dado que está en juego la estabilidad de las labores, por lo que el diseño siempre tendrá que cumplir como primera condición con los lineamientos geomecánicos. Estos aspectos se pueden resumir en los siguientes:

- **Factor de Seguridad (FS):** Es un criterio de aceptabilidad, correspondiente al cociente entre la resistencia promedio y la sollicitación promedio a la que está sometida una labor, producto de los desarrollos mineros, donde se produce una redistribución en los campos de esfuerzos.
- **Probabilidad de Falla (PF):** Por medio de curvas de distribución de probabilidad se puede representar el factor de seguridad asociado a una cierta probabilidad de ocurrencia.

## 2.4.4 Otros Aspectos:

Se agregan otros aspectos de interés que se pueden resumir en los siguientes:

- **Interacción del Mineral:** Para los distintos tipos de MEx, al observar la geometría con los elipsoides superpuestos, se identifican zonas donde no hay interacción de mineral.
- **Ventilación de Galerías:** Algunos tipos de MEx presentan ventajas para la ventilación.

## 2.5 Geometría del Operación Típica en una MEx tipo Teniente

Uno de los aspectos más relevantes en la propuesta de diseño de esta malla mixta (R/T), es que el material del PEx no es enfrentado por el LHD en forma recta. En las MEx típicas, en que la calle no empalma a 90° con el acceso al PEx, el LHD enfrenta en línea recta



con el eje del talud del mineral, lo cual obliga a generar un diseño en que el LHD pueda quedar recto para cargar. Si bien este es un concepto arraigado en el diseño minero, sabemos que operacionalmente esta condición no siempre se da, por lo que no es de extrañar que los equipos LHD muchas veces en su operación enfrenten torcidos al material, lo cual puede ir generando mayor deterioro de los equipos, lo cual los fabricantes ya han considerado dentro de sus diseños reforzando las articulaciones de los equipos para hacer frente a este problema.

Independientemente de lo anterior, las recomendaciones de diseño siempre apuntarán a garantizar la maniobrabilidad de los equipos LHD (Laubscher, 1994), y que este quede recto al momento de realizar la carga, lo que se refleja en el cálculo de la holgura del equipo.

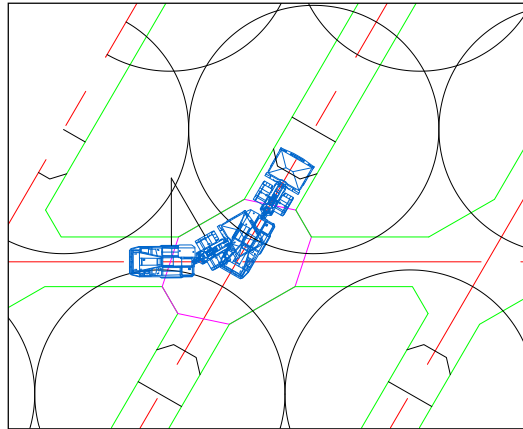


Figura 16: Maniobra del LHD en MEx Teniente

Considerando lo anterior, en una MEx rectangular no habría forma de que el LHD quedara en posición recta para cargar, a menos que el PEx ubicado al frente actuara como un frontón de maniobras, lo cual obligaría a adentrar aún más la base del elipsoide de extracción, generándose un alejamiento de los elipsoides que debieran interactuar sobre el Crown pillar de la calle, como se indica en la siguiente figura.

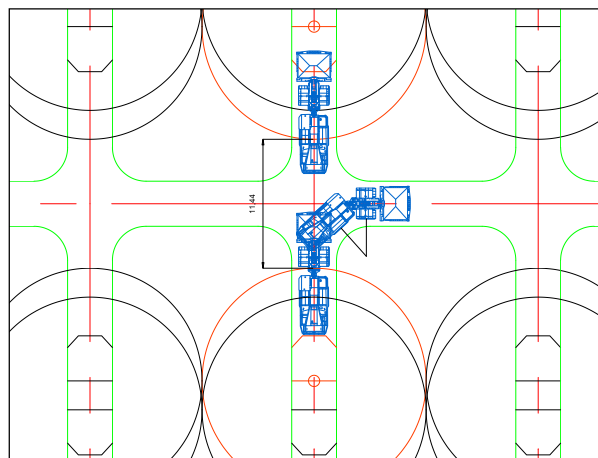


Figura 17: Maniobra del LHD en MEx 100% Rectangular

Se observa que el resultado obtenido en este simple bosquejo es totalmente opuesto a lo planteado como base de diseño, por lo cual se debe definir un diseño que compatibilice



los potenciales beneficios indicados anteriormente. La base de diseño que permitiría lograr esto se ilustra en el siguiente diseño conceptual:

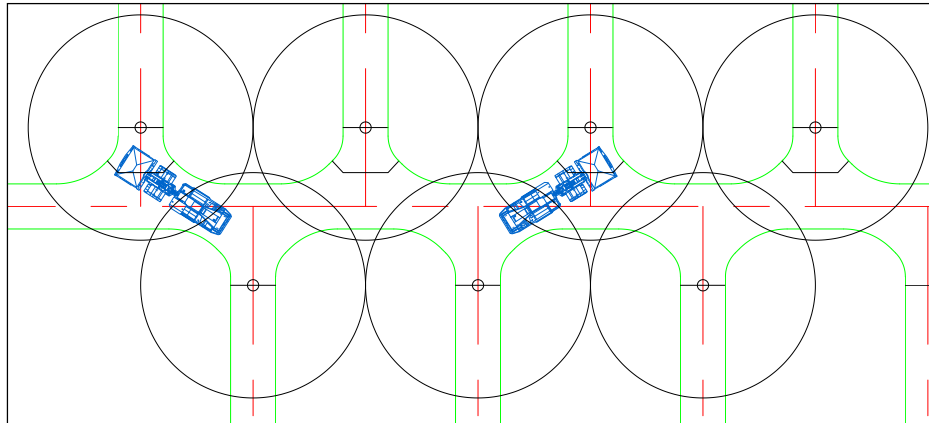


Figura 18: Base de Diseño para MEx Mixta (R/T)

El diseño indicado será considerado como referencia para definir un diseño de un mayor grado de detalle, sobre el cual se realizarán los análisis técnicos correspondientes y en base a la experiencia se estimarán los efectos operacionales que podrían generarse para este diseño.

Uno de los aspectos del diseño conceptual presentado que llama la atención, es que el equipo NO enfrenta recto el talud del material en el PEX, lo cual podría sugerir que la carga no es simétrica y que podría afectar la geometría final del elipsoide de extracción, generando distorsiones en la extracción que podría afectar la recuperación del yacimiento.

A primera vista, la forma en que el equipo extrae el material desde la base de la columna mineral no debiera afectar el comportamiento del flujo, sin embargo, dado que el comportamiento del flujo es relevante para el método de explotación, y el generar una distorsión en el comportamiento de éste, podría no ser atractivo para un cambio de diseño, por lo que se tendrá que poner atención a este aspecto del diseño.

De la bibliografía investigada (Castro et al. 2007, Orellana 2012), los estudios de flujo solo consideran el comportamiento de éste desde la abertura en la base de la columna hacia arriba. Esto también se observa en estudios de flujo de material en general, no solo en minería (diseño de silos de material a granel, por ejemplo).

No se han encontrado estudios que indiquen efectos sobre el flujo de materiales considerando la dirección en la cual se extrae el material (desde la abertura de la base hacia afuera). Sólo se ha obtenido información verbal de que Newcrest desechó el diseño de MEx tipo Herrinbone, con un PEX (galería) en ángulo, dado que estimaron que generaba tiraje diferenciado (no se dispone de la confirmación bibliográfica de este hecho).

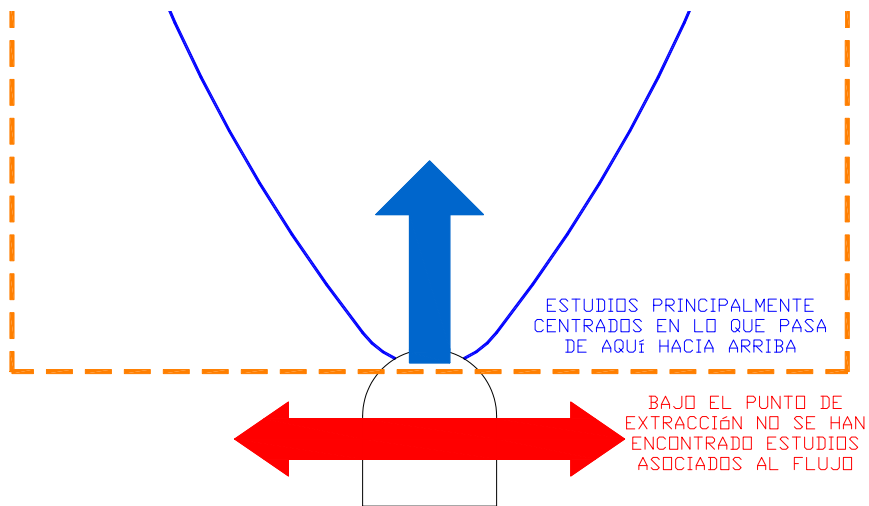


Figura 19: Esquema del principal objetivo de estudios en bibliografía

Considerando que hasta el momento ha sido infructuosa la búsqueda de estudios que indiquen el efecto de la forma en que se extrae el material en la base de una columna de material, es que dentro del desarrollo de este estudio se recomienda definir pruebas en laboratorio que permitan visualizar los efectos en la geometría del elipsoide de extracción al cargar el material lateralmente con un LHD y no en forma recta (respecto al eje de la galería de zanja) como comúnmente se diseña la MEx.

## 2.6 Conclusiones Sobre el Estado del Arte

Considerando la información revisada, y dadas las necesidades productivas y tecnológicas actuales, se observa que existen aspectos de diseño y operaciones que darían espacio a una nueva propuesta de diseño de MEx, que ofrezca mejores condiciones al diseño, construcción y operación, lo cual será desarrollado en este estudio.

Dicha propuesta tendrá que someterse a las metodologías de evaluación correspondientes, de modo que de ello resulte una propuesta técnicamente válida al menos en lo teórico.

No obstante, cualquier desarrollo innovador requiere de la revisión y validación de cada uno de los aspectos relacionados con las distintas especialidades que participan en dicho desarrollo, por lo cual el presente estudio abrirá una línea de investigación en torno a la propuesta, la cual podrá formar parte de estudios posteriores, y en la cual se puedan llevar a valores numéricos lo que hoy solamente se puede estimar cualitativamente en base a la experiencia del autor.

### 3 DESARROLLO DEL ESTUDIO

#### 3.1 Hipótesis

El estudio en desarrollo busca demostrar la siguiente hipótesis:

El diseño de una malla de extracción Mixta (R/T), en que los puntos de extracción estén más cerca de la calle, ofrece mejores condiciones de operación y mayores ventajas de diseño, respecto a la MEx con galerías de zanja en ángulo respecto a la calle.

#### 3.2 Concepto de Carguío “No frontal”

El concepto de carguío “no frontal”, viene desarrollándose desde hace años atrás (Le-Feaux 2013), registrándose la primera propuesta formal de aplicación en el año 2013, en que se planteó como una opción de diseño que podría investigarse en un proyecto de Block Caving. Sin embargo, dicha propuesta no prosperó en ese momento, dado que para el nivel de avance del proyecto en cuestión el cambio de diseño de la MEx no era posible. A través de este trabajo de investigación se pretende avanzar en el desarrollo de este concepto para futuras aplicaciones en distintos diseños mineros.

A continuación, se presentan algunas ilustraciones del diseño propuesto en dicha oportunidad (Le-Feaux 2013):

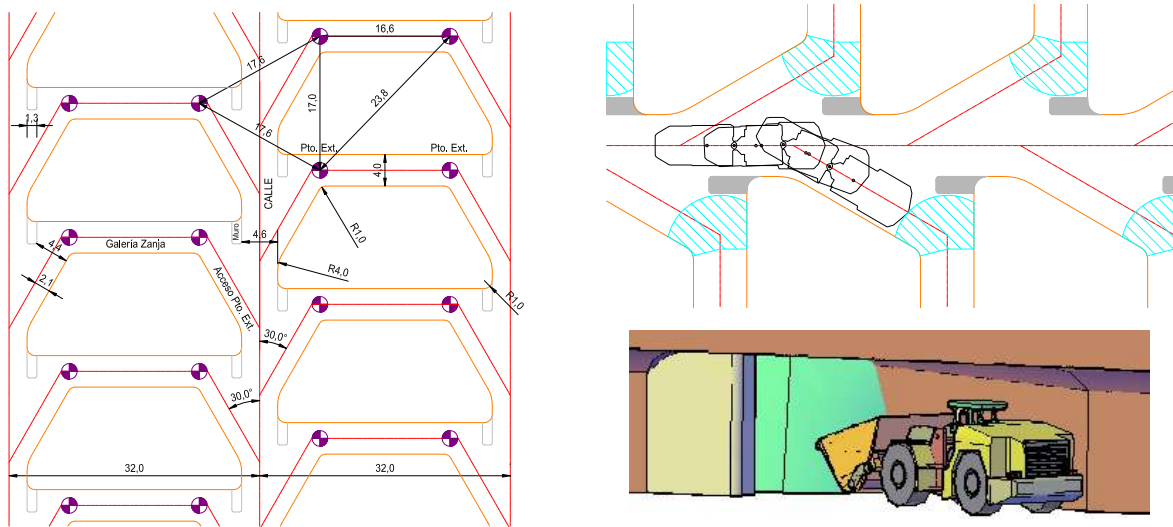


Figura 20: Diseño experimental con carguío “no frontal” en Punto de Extracción

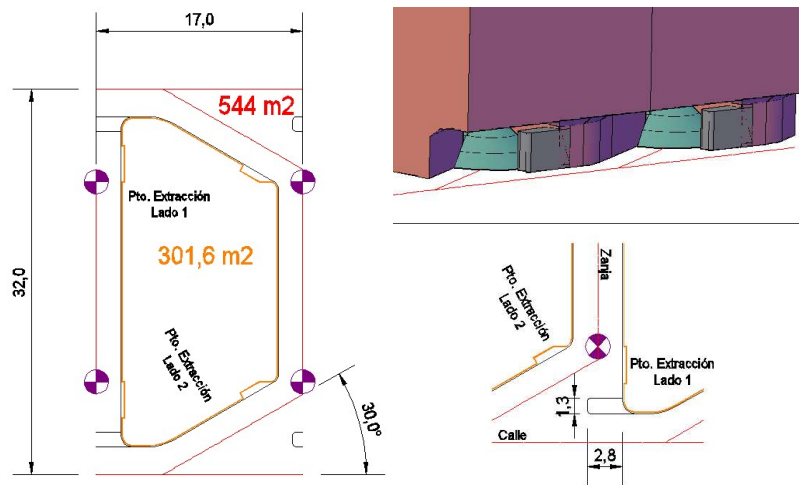


Figura 21: Detalle diseño experimental Punto de Extracción

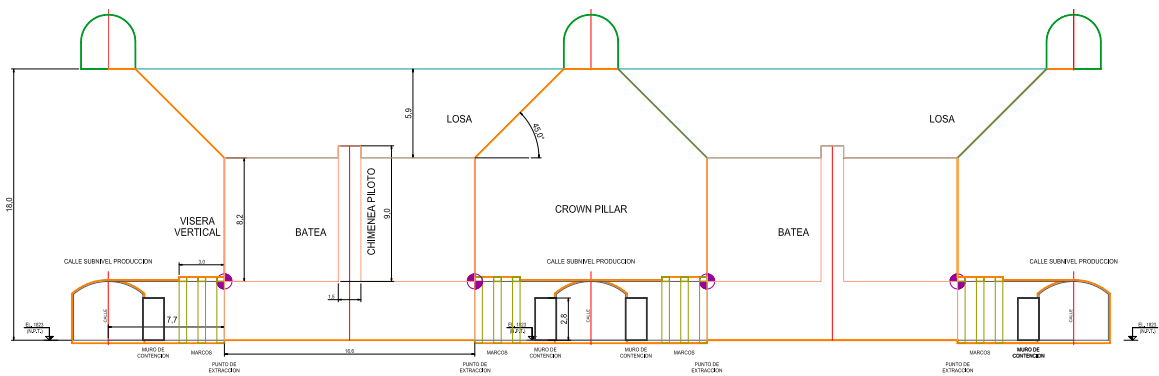


Figura 22: Detalle diseño experimental Sección transversal

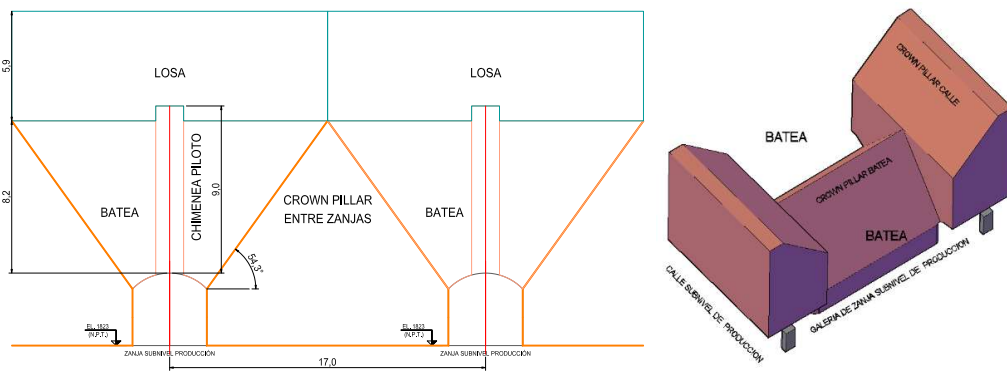


Figura 23: Detalle diseño experimental Sección longitudinal e isométrico

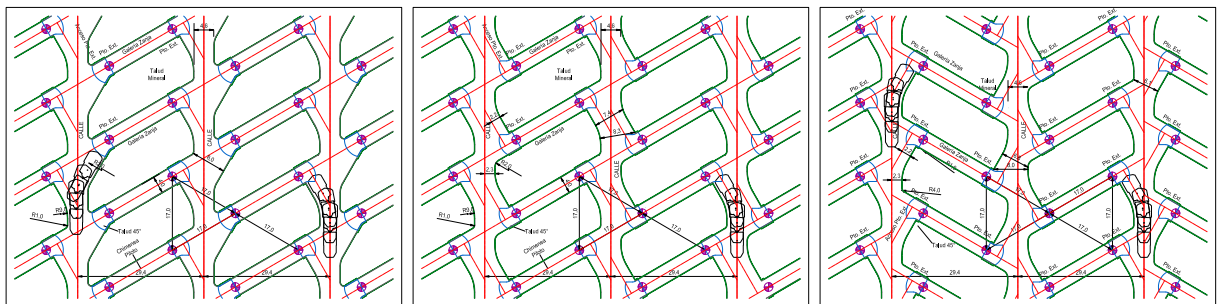


Figura 24: Ejemplo de aplicación modificando MEx Tipo Tte. y Espina de Pescado

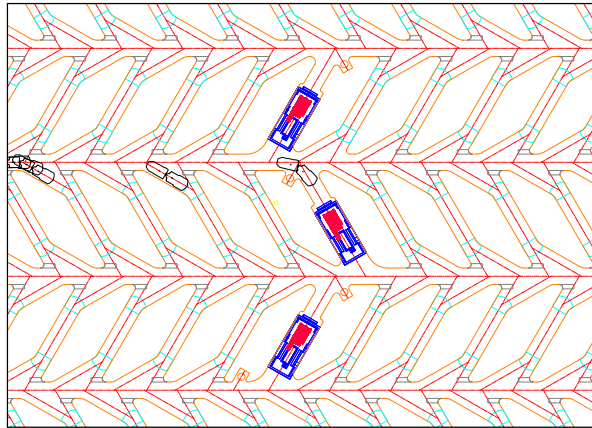


Figura 25: Ejemplo de aplicación con Chancador Sizer

Como resultado de la propuesta, el autor recomendó lo siguiente:

- Someter el diseño a Modelos Geomecánicos que permitan determinar la estabilidad de las excavaciones y pilares del diseño y analizar sistemas de fortificación que permitan garantizar dicha estabilidad. Esto incluye el diseño del nivel de hundimiento, que podría considerar aumentar el volumen del Crown pillar sobre la calle de producción.
- Someter el diseño a simulaciones de capacidad de producción, con la participación de proveedores de equipos de tal forma que se puedan identificar los aspectos operativos relevantes del cambio de diseño relacionados con la operación. En este sentido los proveedores de LHD's debieran estar muy interesados dado que este sistema libera restricciones de tamaños de los equipos y con ello induce a una mayor competitividad de los fabricantes.
- Analizar el comportamiento esperado del flujo en el PEx en distintas etapas de la vida del punto (grueso, intermedio y fino), de modo que se puedan definir las condiciones de operación en cada etapa (agregar reguladores de flujo para el material fino, por ejemplo).
- Analizar el efecto en el plan de producción que tendría el aplicar este diseño, a partir de los resultados de la simulación mencionada anteriormente.
- Disponiendo de los resultados de los análisis correspondientes, se podría recomendar la aplicación de este diseño en sectores experimentales.
- El diseño presentado sería aplicable prácticamente en cualquier explotación por Caving.
- Someter el diseño a simulaciones de preparación para determinar el efecto sobre los plazos de construcción (programa de preparación).
- Definir con mayor detalle la funcionalidad, diseño y costo del sistema de contención ubicado entre el PEx y la calle del nivel de producción.
- Definir con mayor detalle el diseño del PEx, considerando para ello que este diseño podría quedar fuera de la batea, considerando construcciones prefabricadas, incluyendo con reguladores de flujo para controlar distintas granulometrías según el período de vida del punto (grueso al principio, regular en régimen y fino al final).

Posteriormente, se generaron ajustes a ese diseño, mejorando algunos aspectos geométricos y operacionales, planteándose la posibilidad de aplicar el diseño en otro proyecto de Panel Caving, lo cual no prosperó principalmente a la misma razón indicada

anteriormente, dado que el proyecto se encontraba en construcción y un cambio de diseño no era recomendable al menos para el sector en que se estaba construyendo.

Basado en el diseño con mayor grado de desarrollo indicado, se realiza el trabajo de tesis “Propuesta y Evaluación Diseño de Malla de Extracción Mixta (Rectangular-Triangular)” que se presenta en este documento.

### 3.3 Propuesta de Diseño MEx Mixta (Rectangular-Triangular)

Considerando que los diseños de MEx comúnmente utilizados en minería, son 2, tipo Teniente y tipo Henderson, con sus variantes y adaptados a las condiciones particulares de cada proyecto, el proponer un nuevo diseño puede resultar poco atractivo, principalmente por el riesgo de no conseguir mejores resultados que los obtenidos en los diseños típicos.

Es por lo que el desafío de esta propuesta no es menor, y dada la dificultad de hacer pruebas a nivel industrial, es que se tendrá que respaldar teóricamente de la mejor forma posible el nuevo diseño.

Se debe destacar que para el diseño de la MEx deben considerarse aspectos geométricos y económicos propios de cada proyecto en que se realizará la evaluación, existiendo metodologías propuestas para ello (Castro, Vargas, De la Huerta 2012), por lo que se requiere contar con información específica, como características del mineral, altura de columnas a extraer, leyes, costos de desarrollo, entre otros, que para el caso en estudio, por tratarse de un análisis comparativo, no están disponibles, por lo cual se considerarán datos referenciales que sean válidos para los diseños a comparar (Le-Feaux 2013, 2012A, 2012B y 2019-2020).

Existen más de una motivación para plantear la posibilidad de diseñar una nueva MEx, y definir para qué casos se podría recomendar este nuevo diseño. En la primera parte de este documento ya han sido indicadas, sin embargo, las mencionaremos nuevamente a continuación.

Se busca un diseño de MEx que cumpla los siguientes requisitos:

- **Permitir el uso de prácticamente cualquier equipo LHD en una misma explotación (limitado solo por la sección de la Calle):** Esto debido a que la longitud de los equipos LHD son mayores en función de la capacidad del equipo, lo cual limita las posibilidades de maniobras en los PEx, y aunque la MEx haya sido diseñada para una longitud de equipo definida, las condiciones de operación muchas veces hacen que esta longitud de diseño no se mantenga en el tiempo, por ejemplo cuando hay daño en los PEx, y ese daño hace que el talud del material se acerque a la CP, disminuyendo el espacio de maniobras para el LHD.
- **Disminuir el tiempo de maniobras del equipo para acceder al PEx:** Una MEx ideal sería una que no requiera maniobras para acceder y/o salir del PEx, con lo cual el ciclo del equipo disminuiría y también los efectos en la estructura del equipo mismo (articulaciones, ejes, balde, etc.).
- **Disminuir la energía necesaria para la extracción del material:** Si la condición del material facilitara la operación del LHD, disminuiría la necesidad energética del equipo, y esto se podría lograr si el equipo no tuviera que penetrar en el talud (si el

equipo cortara el talud por el costado debiera oponer menor resistencia que al penetrar el talud de frente).

- **Disminuir la exposición del operador y del equipo al desplazamiento del material en el talud:** Un diseño atractivo desde el punto de vista de la seguridad de la operación sería uno que expusiera lo menos posible el equipo al deslizamiento del material a cargar, pensando en que solo el balde se exponga por razones obvias al proceso de carga.
- **Disminuir la altura de interacción entre Elipsoides de Extracción:** Se busca que se genere interacción de los elipsoides sobre el Crown Pillar a una menor altura, independientemente del diámetro de estos, de modo de disminuir la carga muerta sobre el Crown Pillar, disminuyendo con ello las sollicitaciones por carga de dicho pilar. Esto se lograría acercando los PEx hacia la CP.
- **Simplificar el diseño de bateas:** El diseño de la MEx debe considerar el efecto que tendrá sobre el diseño de las bateas, dado que las MEx tipo Teniente generan bateas asimétricas, de difícil control en su excavación, lo ideal sería lograr un diseño de bateas simétricas o incluso permitir la utilización del diseño de bateas continuas o siamesas (una batea conectada con otra u otras).
- **Mejorar la condición de estabilidad en la intersección de CP con GZ:** Se espera conseguir una disminución de la luz abierta en el acceso a los PEx.
- **Mejorar las condiciones de operatividad:** Pensando en la tendencia de automatizar las operaciones, y/o incluir en los proyectos a los equipos eléctricos, se busca un diseño que facilite las operaciones tanto de los equipos de producción como también los complementarios. Además, esto también podría significar una mejor condición de operación de los equipos de construcción.

### 3.4 Metodología General

Como se indica en el alcance de este estudio, se definirá un diseño de MEx Mixta (Rectangular-Triangular), que será comparada y evaluada en condiciones equivalentes a una MEx tipo Teniente, de modo de establecer teóricamente, las ventajas y desventajas que podría presentar este diseño, y así dejar trazada una ruta de análisis posterior ya sea a nivel de laboratorio o a escala industrial de dicha propuesta.

Los pasos para seguir serán los siguientes:

- Definición de lineamientos de diseño:
  - ❖ Radio/Diámetro de Elipsoides de Extracción.
  - ❖ Separación entre calles.
  - ❖ Sección de CP.
  - ❖ Sección de GZ.
  - ❖ Fortificación típica en galerías (para análisis de constructibilidad).
  - ❖ Fortificación con Marcos en puntos de extracción (para análisis de constructibilidad).
  - ❖ Fortificación con cables en intersecciones o empalmes (cantidad de cables por área expuesta).
  - ❖ Espesor de pavimentos (para análisis de constructibilidad).
  - ❖ Espesor de muros de contención en pilares.
- Diseño de MEx tipo Teniente, para dichos lineamientos.
- Diseño de MEx Mixta, para dichos lineamientos.

- Cubicación de obras.
- Valorización de obras.
- Programación de obras.
- Evaluación comparativa entre MEx Mixta y MEx Tipo Teniente.
- Conclusiones y Recomendaciones.

### 3.5 Lineamientos de Diseño MEx

De la bibliografía consultada (Castro, Vargas, De la Huerta 2012), estudios recientes sobre la geometría de los elipsoides de extracción, indican que el flujo tiene un diámetro aproximadamente de 35 [m] a una altura de extracción de 100 [m] y se indica que es dicha altura de interacción el principal parámetro a considerar para el diseño.

Sin embargo, para el desarrollo de esta propuesta de diseño, se considerará un diámetro menor en los elipsoides de extracción, lo que se daría a una menor altura sobre el punto de extracción, principalmente considerando el efecto que esto tendría la carga de material sobre el Crown Pillar en la Calle de Producción. En este caso no se aplicará una optimización en el espaciamiento entre PEx dentro de la MEx, sino que se tomará como referencia el diseño de MEx Tipo Teniente versus un diseño de MEx mixto, evaluándolos en base a los indicadores típicos utilizados para este propósito.

Una vez que cada usuario defina la geometría o criterios que utilizará para determinar el diámetro de los elipsoides, el diseño propiamente tal será potencialmente aplicable y tendrá que someterse a la evaluación comparativa con otros diseños típicos de MEx y definir cual ofrecerá mejores expectativas para su aplicación.

Para el desarrollo de este trabajo, se considerarán las dimensiones de los diámetros en los elipsoides como referenciales. Se definen los lineamientos bajo los cuales se realizarán los diseños, los cuales se basan principalmente en el diseño de una MEx tipo Teniente (Le-Feaux 2019-2020), de modo de utilizar datos respaldados por años de aplicación en la gran minería.

Ítem	Valor	[Unidad]	Observaciones
Radio Elipsoide	10	[m]	Definido para comparación
Separación CP	34	[m]	Diámetro de elipsoide de extracción: 20 [m]
Sección CP	4,8 x 4,5	[m x m]	Semicircular Excavada sin sobre excavación
Sección GZ	4,4 x 4,3	[m x m]	
Sección PEx	4,8 x 4,5	[m x m]	
Disposición Apernado	1 x 1	[m x m]	Considera perno-malla CP, PEx y GZ
Shotcrete	0,10	[m]	Espesor final para CP y PEx
Marcos PEx	4	[un]	Definido para comparación
Pavimento	20	[cm]	Espesor final CP, PEx
Muros Contención	2 x 0.20	[m x m]	Sección muro Alto x Ancho
Ángulo de Talud	45	[°]	Definido para comparación
Proyección Talud	4	[m]	Proyección en planta del material

Tabla 1: Datos a utilizar en diseño comparativo de MEx



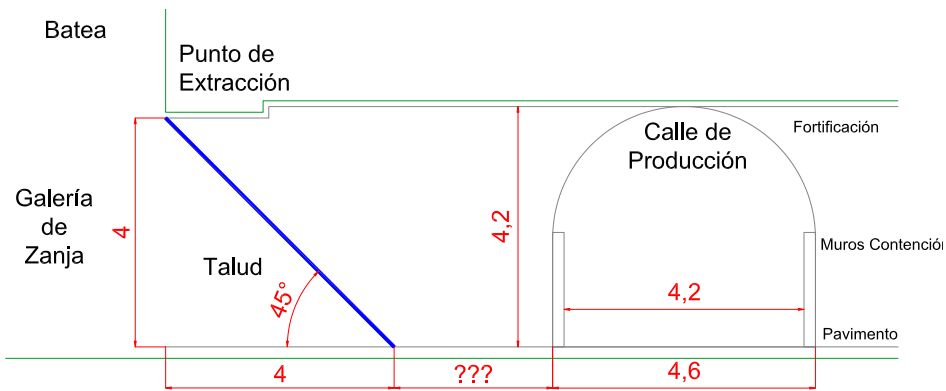


Figura 26: Esquema de cálculo para proyección del Talud

Con estos datos, se aplicarán los diseños a un área de 6.800 [m<sup>2</sup>], de modo de contar con dicha área de referencia para las estimaciones de obras asociados a los diseños y con ello evaluar la constructibilidad de un sector. No se considera la disposición de puntos de vaciado ni chimeneas.

Para la evaluación de parámetros de diseño geométricos, se utilizará una unidad básica de diseño comprendida por el área correspondiente a una batea, es decir 2 PEx, equivalentes a 680 [m<sup>2</sup>].

### 3.5.1 Diseño MEx Tipo Teniente

Con los datos antes indicados en la tabla, se diseña la MEx tipo Teniente (Le-Feaux 2019-2020) que será comparada con la propuesta de MEx motivo de este estudio. El diseño resultante es el siguiente (dimensiones en metros):

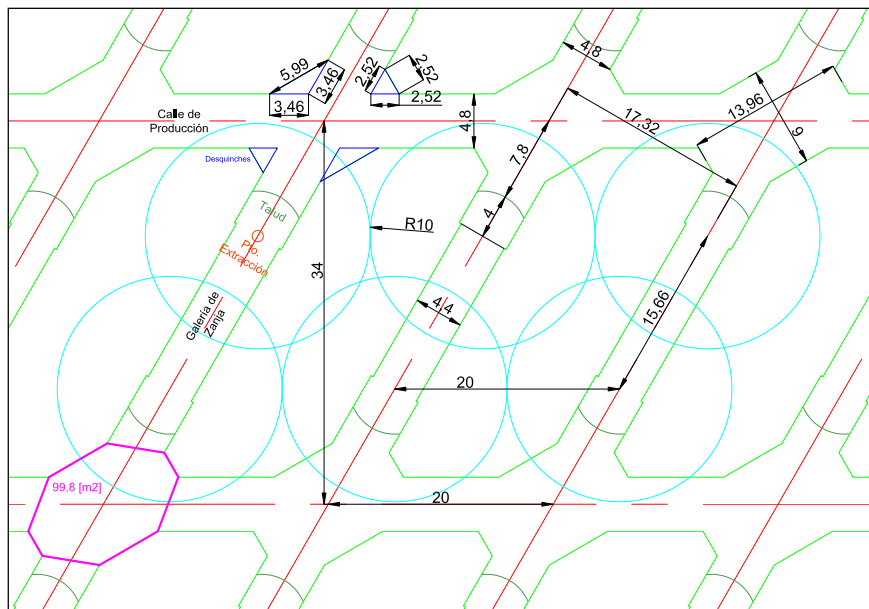


Figura 27: MEx Tipo Teniente

### 3.5.2 Diseño MEx Mixta

Con los datos antes indicados en la tabla, se diseña la MEx Mixta propuesta motivo de este estudio (Le-Feaux 2012A, 2012B, 2013). El diseño resultante es el siguiente (dimensiones en metros):

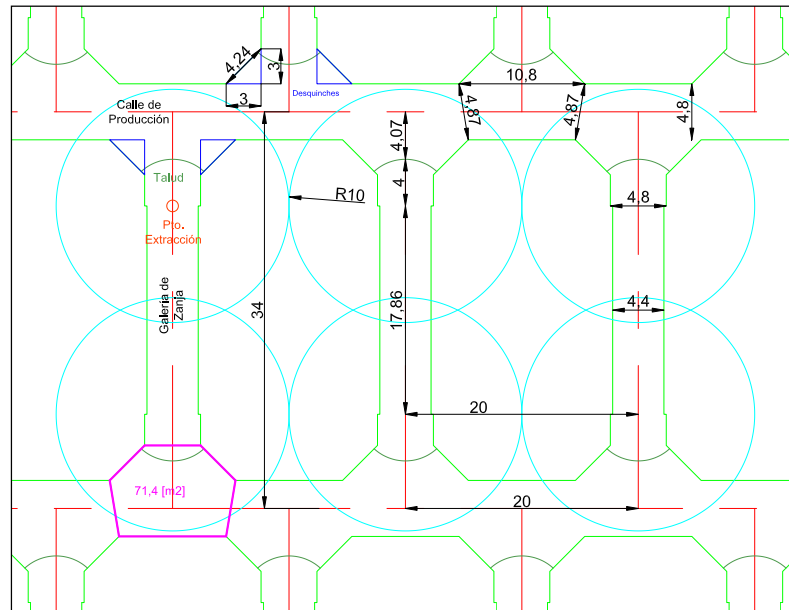


Figura 28: MEx Mixta

### 3.6 Cubicación de obras

Para el módulo definido de 6.800 [m<sup>2</sup>], se consideran las obras a comparar, basadas en datos de proyectos en curso (Le-Feaux 2019-2020):

- Excavaciones Sección 4,8 x 4,5 [mxm]: Correspondientes a la excavación de las Calles y Accesos a PEx.
- Excavaciones Sección 4,4 x 4,3 [mxm]: Correspondientes a la excavación de las galerías de Zanja.
- Excavaciones Desquinches en Esquinas: Correspondientes a las curvas de alta velocidad y suavizamiento de esquinas en los pilares.
- Fortificación Perno-Malla: Todas las galerías y desquinches se fortificarán con Pernos y Malla.
- Fortificación Shotcrete: Solamente se aplicará shotcrete a las Calles y Accesos a PEx, las galerías de zanja no consideran la aplicación de shotcrete.
- Fortificación con Cables: Para efectos de comparación, se considera la fortificación con cables en los techos de intersecciones. No se incluirán ni la fortificación con cables de las viseras ni cables en los pilares.
- Construcción de Puntos de Extracción: Considera las obras civiles asociadas a los PEX, incluyendo los marcos de acero.
- Pavimentos: Considera concretar los pisos de calles y accesos de PEx.
- Muros de Contención: Considera la utilización de muros en cajas expuestas al tránsito de equipos (Calles, accesos a PEx).

### 3.6.1 MEx Tipo Teniente v/s MEx Mixta

A continuación, se ilustran las obras consideradas para la cubicación, de lo cual se obtiene la tabla que se presenta posteriormente.

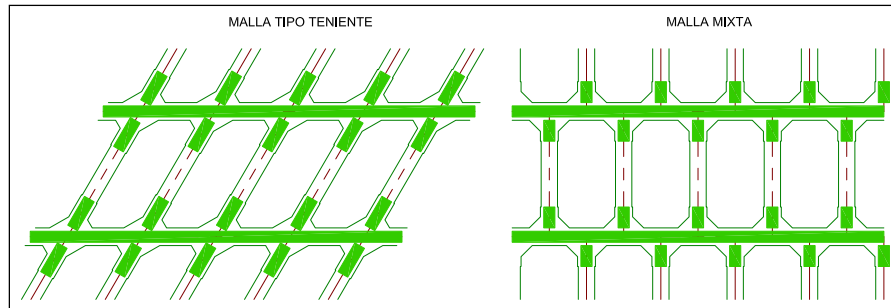


Figura 29: Excavaciones Sección 4,8 x 4,5 [mxm]

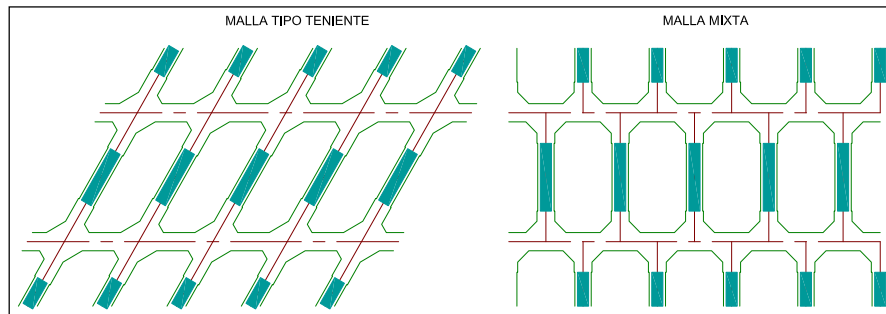


Figura 30: Excavaciones Sección 4,4 x 4,3 [mxm]

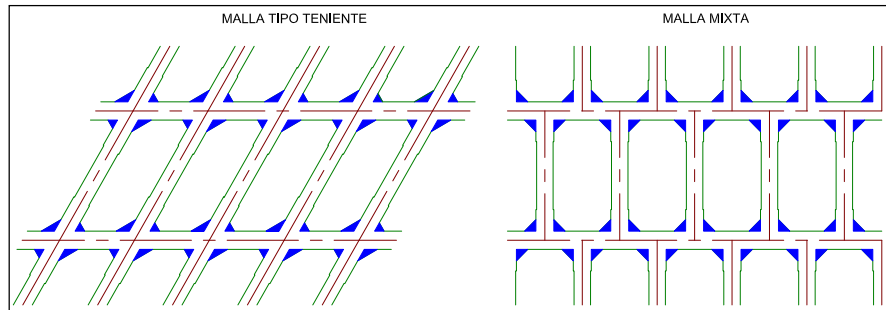


Figura 31: Excavaciones Desquinces en Esquinas

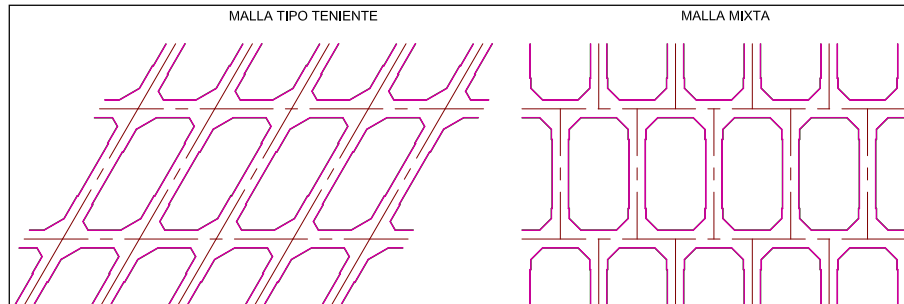


Figura 32: Fortificación Perno – Malla

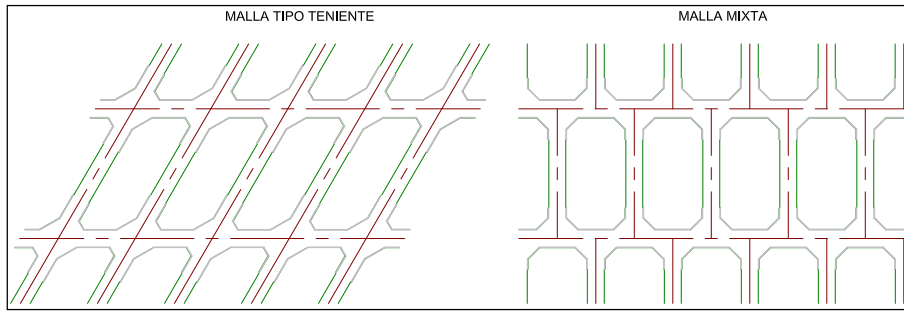


Figura 33: Fortificación Shotcrete

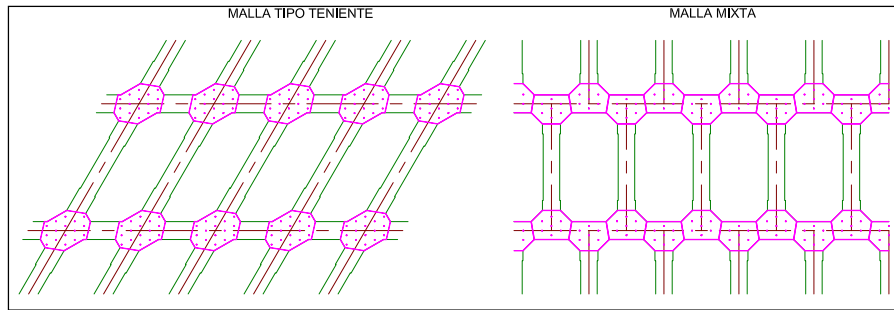


Figura 34: Fortificación con Cables

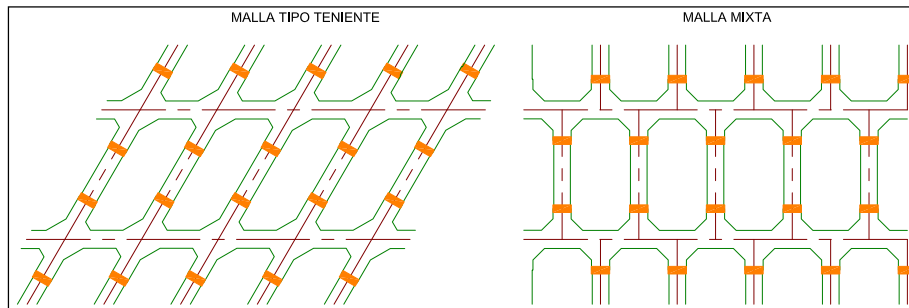


Figura 35: Construcción de Puntos de Extracción

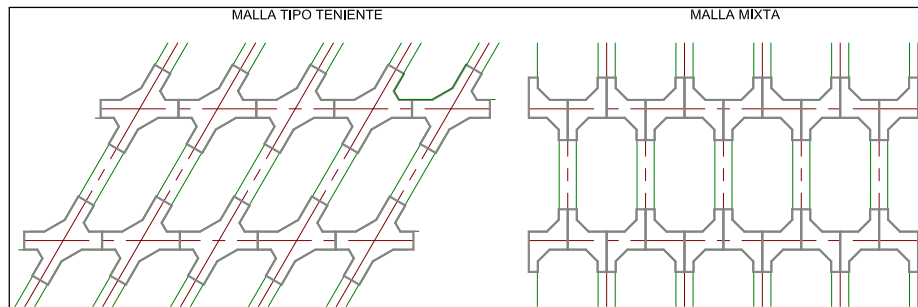


Figura 36: Pavimentos

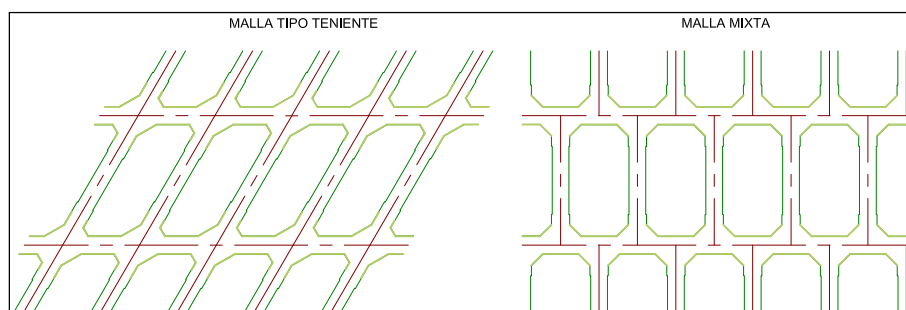


Figura 37: Muros de Contención

Obra	Detalle	[un]	Malla de Extracción			Observaciones
			Teniente	Mixta Original	Diferencia con Tte.	
Galería Sección: Excavada 4,8 x 4,5 [mxm]	Calle de Producción	[m]	200	200	0	Se considera fortificada con Perno + Malla + Shotcrete a toda su longitud independientemente de que después haya que romper para conectar con otra galería
	Excavación	[m <sup>3</sup> ]	3.825,6	3.825,6	0	No considera sobre excavación
	Apernado 1 x 1	[un]	2.348	2.348	0	Considera el área expuesta por galería
	Malla	[m <sup>2</sup> ]	3.052,3	3.052,3	0	Considera el área expuesta por galería y un 30% de traslape
	Shotcrete	[m <sup>3</sup> ]	231,7	231,7	0	No considera rechazo
	Acceso Punto de Extracción	[m]	180,6	113,4	67	No considera los desquiches en curvas de alta velocidad
	Excavación	[m <sup>3</sup> ]	3.454,0	2.169,1	1.285	No considera sobre excavación
	Apernado 1 x 1	[un]	2.120	1.332	788	Considera el área expuesta por galería
	Malla	[m <sup>2</sup> ]	2.755,9	1.730,7	1.025	Considera el área expuesta por galería y un 30% de traslape
	Shotcrete	[m <sup>3</sup> ]	209,2	131,4	78	No considera rechazo
Galería Sección: Excavada 4,4 x 4,3 [mxm]	Galería de Zanja	[m]	156,6	178,6	-22	Se considera fortificada con Perno + Malla a toda su longitud independientemente de que después haya que romper para conectar con otra galería
	Excavación	[m <sup>3</sup> ]	2.637,5	3.008,1	-371	No considera sobre excavación
	Apernado 1 x 1	[un]	1.741	1.985	-244	Considera el área expuesta por galería
	Malla	[m <sup>2</sup> ]	2.262,1	2.579,8	-318	Considera el área expuesta por galería y un 30% de traslape
Desquiches Esquinas Excavada 4,8 x 4,5 [mxm]	Excavación	[m <sup>3</sup> ]	788,9	882,8	-94	Curvas de Acceso en Intersecciones sin sobre excavación
	Apernado 1 x 1	[un]	1.260	1.280	-20	Considera el área expuesta por galería
	Malla	[m <sup>2</sup> ]	1.613,4	1.651,2	-38	Considera el área expuesta por galería y un 30% de traslape
	Shotcrete	[m <sup>3</sup> ]	124,1	127,0	-3	No considera rechazo
Construcción Puntos	[un]	20	20	0		
Marcos de Acero	[un]	60	60	0	3 marcos por cada punto	
Pavimentos	[m <sup>3</sup> ]	361,5	308,6	53	Incluye el pavimento del punto de extracción	
Muro de Contención	[m <sup>3</sup> ]	187,3	143,5	44	Se consideran las cajas expuestas al tránsito del LHD	
Cables	Intersecciones	[un]	320	280	40	Cables de 9 metros

Tabla 2: Cubicación Comparativa MEX

Resumen por Módulo	[un]	Malla de Extracción		
		Teniente	Mixta Original	Diferencia con Tte.
Desarrollos Horizontales	[m]	537	492	45
Excavaciones	[m <sup>3</sup> ]	39.048	43.238	-4.190
	[t]	103.477	114.580	-11.102
Pernos	[un]	7.469	6.945	524
Malla	[m <sup>2</sup> ]	9.684	9.014	670
Shotcrete	[m <sup>3</sup> ]	565	490	75
Pavimentos	[m <sup>3</sup> ]	362	309	53
Hormigones Muros	[m <sup>3</sup> ]	187	143	44
Cables	[un]	320	280	40
Puntos de Extracción	[un]	20	20	0
Marcos de Acero	[un]	60	60	0

Tabla 3: Resumen de Cubicación Comparativa MEX

Resumen por Área (6.800 m <sup>2</sup> )	[un]	Malla de Extracción		
		Teniente	Mixta Original	Diferencia con Tte.
Desarrollos Horizontales	[m]	0,079	0,072	8,4%
Excavaciones	[m <sup>3</sup> ]	5,742	6,358	-10,7%
	[t]	15,217	16,850	-10,7%
Pernos	[un]	1,098	1,021	7,0%
Malla	[m <sup>2</sup> ]	1,424	1,326	6,9%
Shotcrete	[m <sup>3</sup> ]	0,083	0,072	13,3%
Pavimentos	[m <sup>3</sup> ]	0,053	0,045	14,6%
Hormigones Muros	[m <sup>3</sup> ]	0,028	0,021	23,4%
Cables	[un]	0,047	0,041	12,5%
Puntos de Extracción	[un]	0,003	0,003	0,0%
Marcos de Acero	[un]	0,009	0,009	0,0%

Tabla 4: Resumen de Cubicación Comparativa MEx por área de influencia

### 3.6.2 MEx Mixta Operativizada

A partir del diseño original de la MEx Mixta, y considerando algunos aspectos operativos para los equipos, se diseña la MEx Mixta Operativizada resultando lo siguiente (dimensiones en metros):

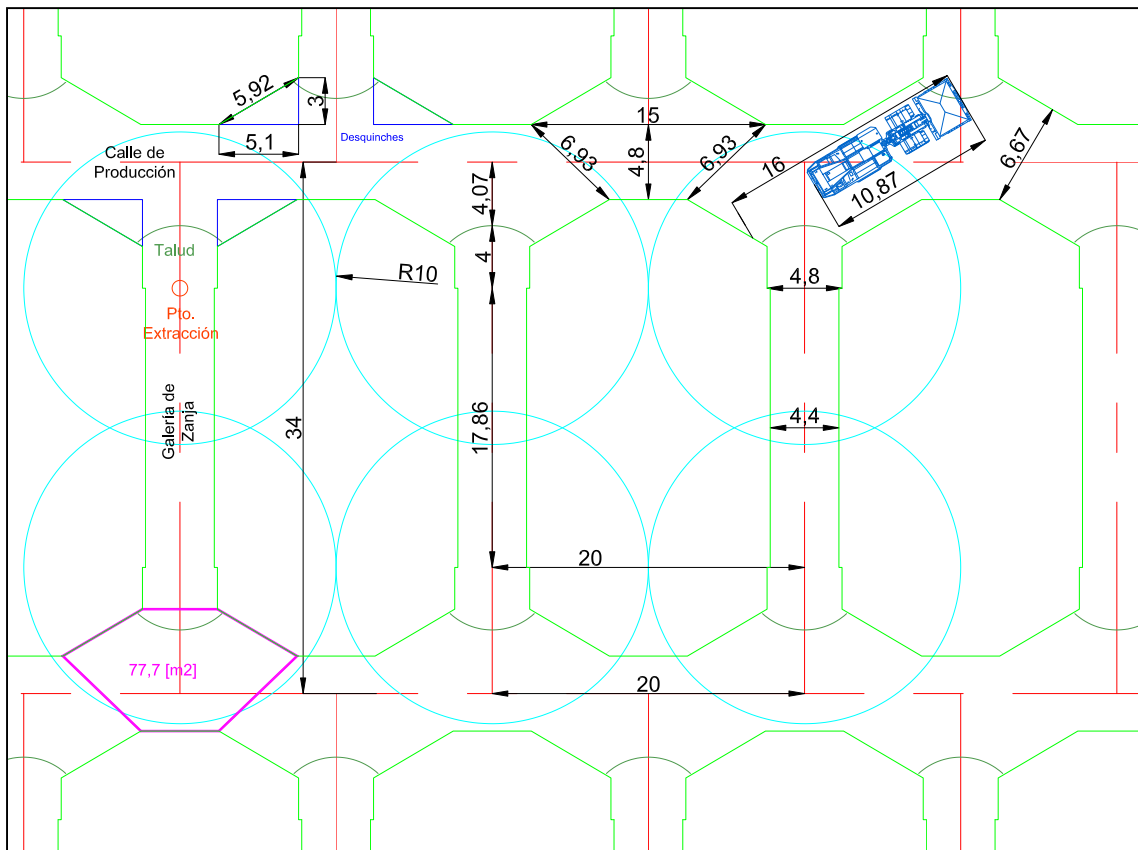


Figura 38: MEx Mixta Operativizada

### 3.6.3 MEx Tipo Teniente v/s MEx Mixta Operativizada

Para el módulo definido de 6.800 [m<sup>2</sup>], se ilustran las obras consideradas para la cubicación, de lo cual se obtiene la tabla que se presenta posteriormente.

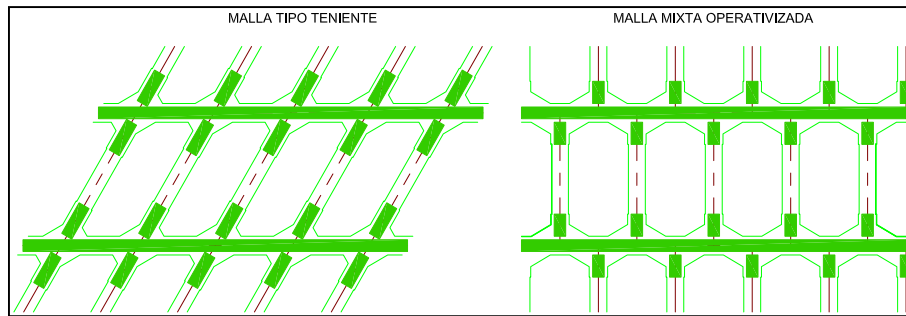


Figura 39: Excavaciones Sección 4,8 x 4,5 [mxm] MEx Mixta Operativizada

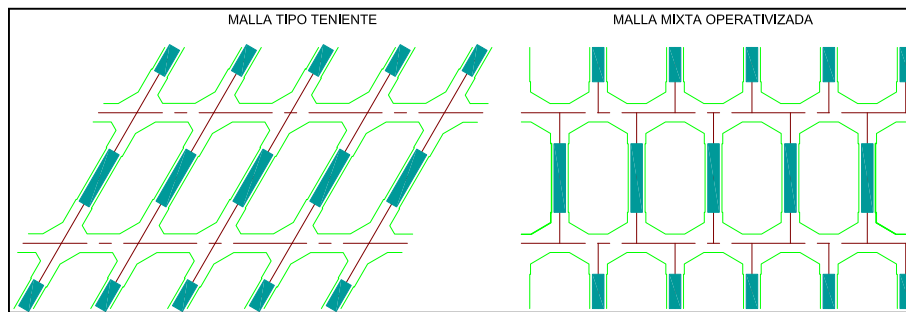


Figura 40: Excavaciones Sección 4,4 x 4,3 [mxm] MEx Mixta Operativizada

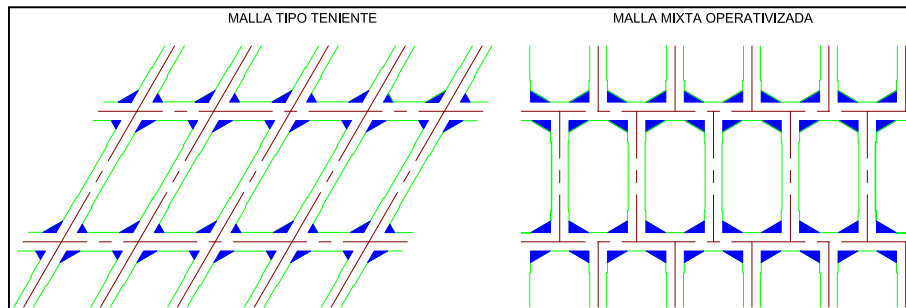


Figura 41: Excavaciones Desquinces en Esquinas MEx Mixta Operativizada

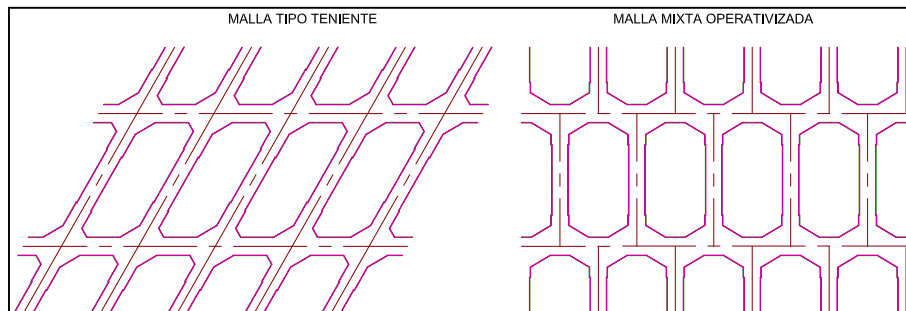


Figura 42: Fortificación Perno – Malla MEx Mixta Operativizada

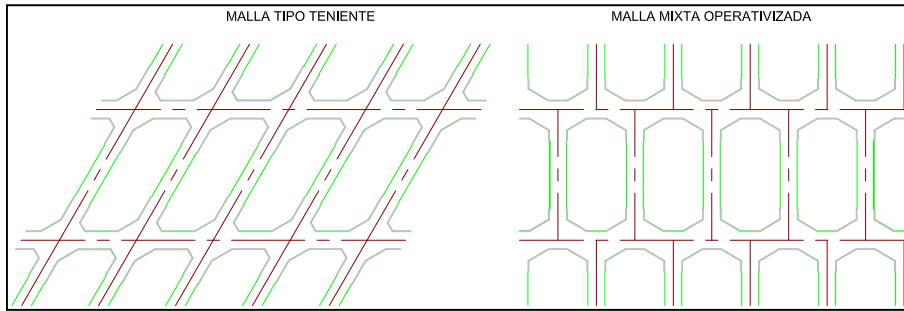


Figura 43: Fortificación Shotcrete MEx Mixta Operativizada

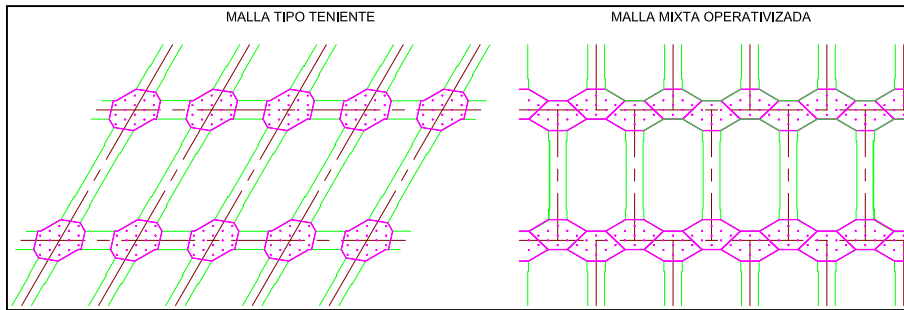


Figura 44: Fortificación con Cables MEx Mixta Operativizada

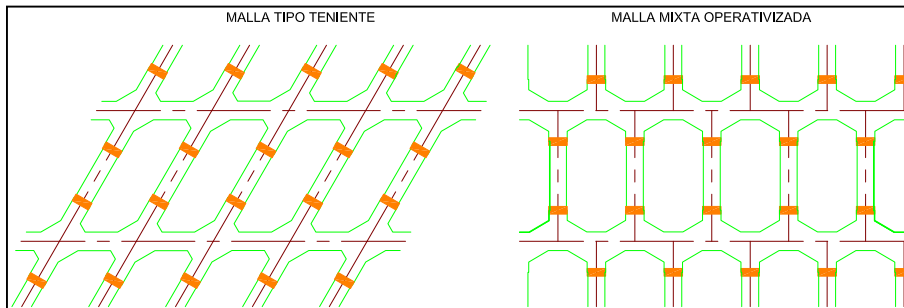


Figura 45: Construcción de Puntos de Extracción MEx Mixta Operativizada

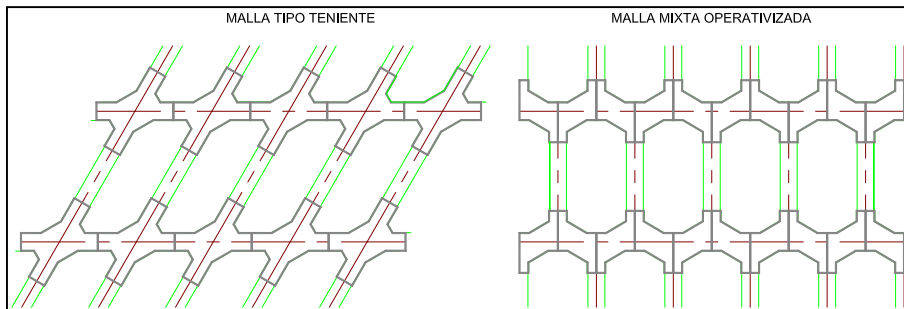


Figura 46: Pavimentos MEx Mixta Operativizada



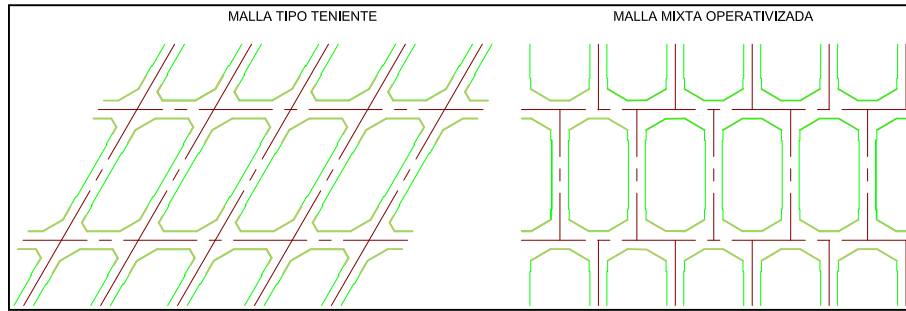
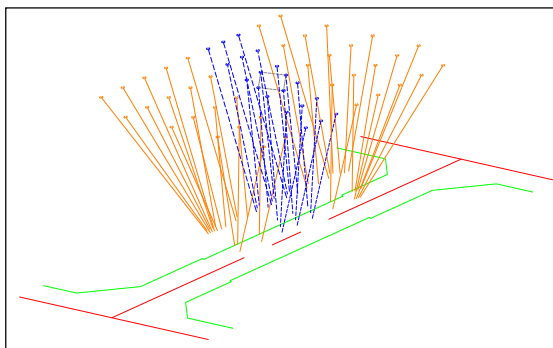
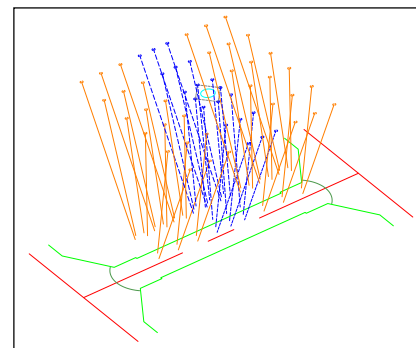


Figura 47: Muros de Contención MEx Mixta Operativizada

Considerando que una de las obras importantes que puede ser afectada por el diseño es la Batea, al operativizar el diseño de la MEx Mixta se incluye en el análisis el diseño conceptual de la Batea.

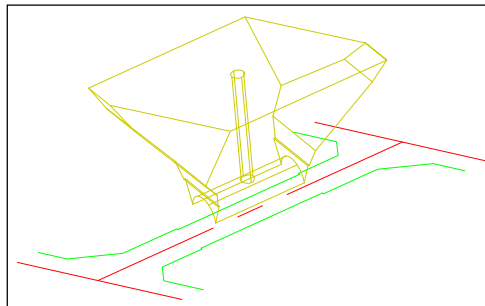


Batea para MEx Tipo Teniente

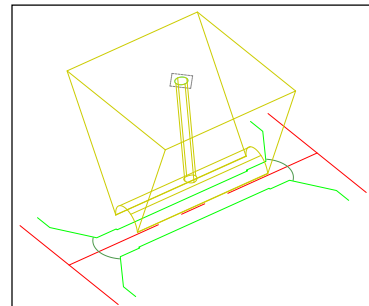


Batea para MEx Mixta

Figura 48: Perforación Batea



Batea para MEx Tipo Teniente



Batea para MEx Mixta

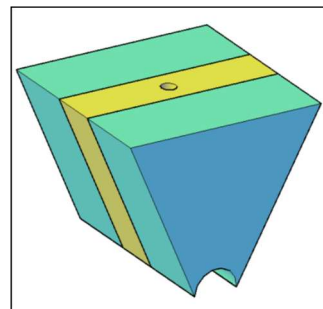
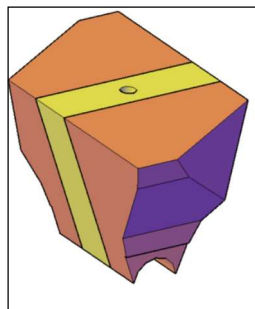


Figura 49: Excavación Batea

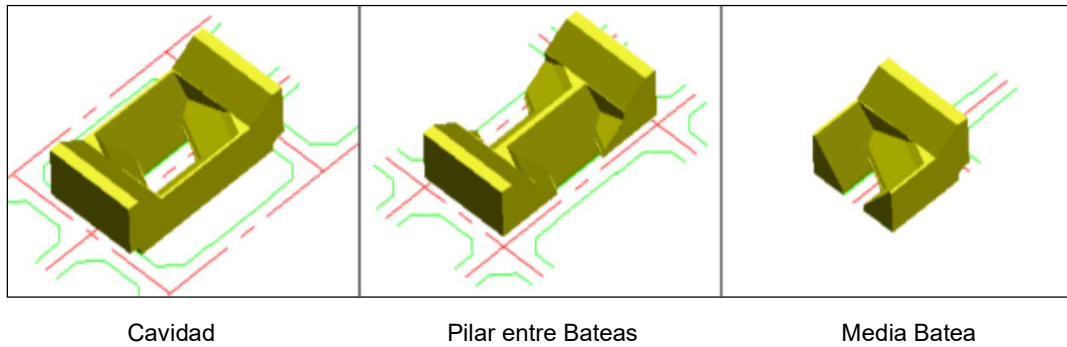


Figura 50: Geometrías 3D Diseño de Bateas MEx Tipo Teniente

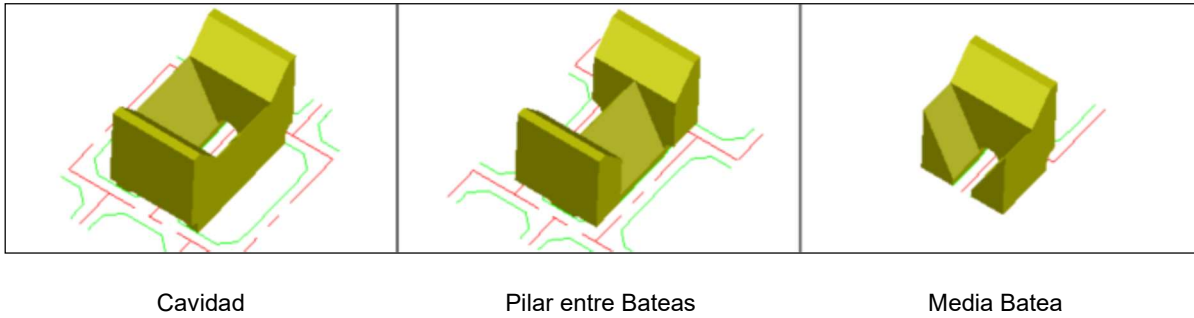


Figura 51: Geometrías 3D Diseño de Bateas MEx Mixta Operativizada

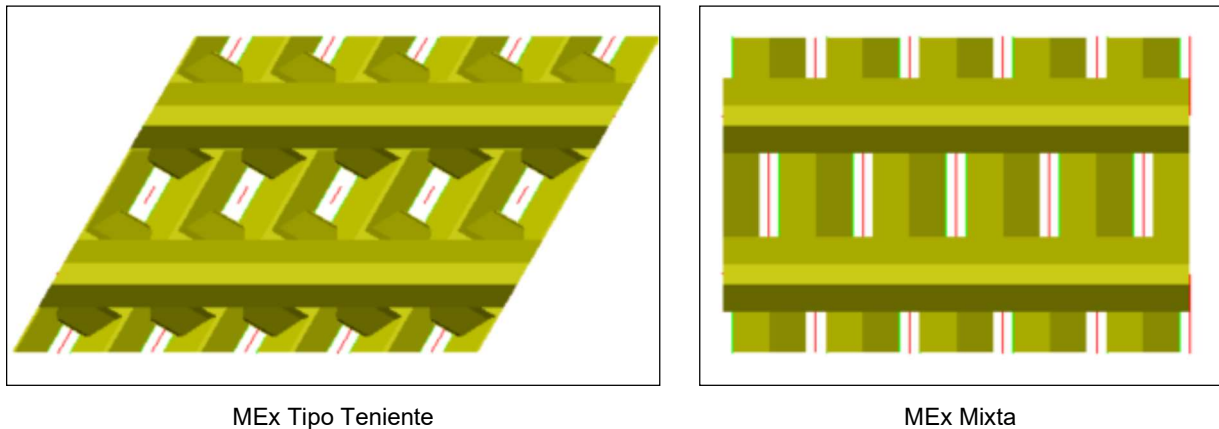


Figura 52: Disposición de Bateas en Área referencial de estudio

Se pretende graficar el efecto que puede tener el diseño de la MEx respecto al de la batea, y dentro de un análisis más avanzado del diseño de MEx, debe considerarse como parte de éste, dado que tiene efectos constructivos y operativos relevantes.

Se observa que la simetría del diseño en la MEx Mixta Operativizada, genera simetría en el diseño de las bateas, lo cual a su vez genera mejores condiciones para la excavación de estas.

Obra	Detalle	[un]	Malla de Extracción			Observaciones
			Teniente	Mixta Operativizada	Diferencia con Tte.	
Galería Sección: Excavada 4,8 x 4,5 [mxm]	Calle de Producción	[m]	200	200	0	Se considera fortificada con Perno + Malla + Shotcrete a toda su longitud independientemente de que después haya que romper para conectar con otra galería
	Excavación	[m <sup>3</sup> ]	3.825,6	3.825,6	0	No considera sobre excavación
	Apernado 1 x 1	[un]	2.348	2.348	0	Considera el área expuesta por galería
	Malla	[m <sup>2</sup> ]	3.052,3	3.052,3	0	Considera el área expuesta por galería y un 30% de traslape
	Shotcrete	[m <sup>3</sup> ]	231,7	231,7	0	No considera rechazo
	Acceso Punto de Extracción	[m]	180,6	113,4	67	No considera los desquinces en curvas de alta velocidad
	Excavación	[m <sup>3</sup> ]	3.454,0	2.169,1	1.285	No considera sobre excavación
	Apernado 1 x 1	[un]	2.120	1.332	788	Considera el área expuesta por galería
	Malla	[m <sup>2</sup> ]	2.755,9	1.730,7	1.025	Considera el área expuesta por galería y un 30% de traslape
	Shotcrete	[m <sup>3</sup> ]	209,2	131,4	78	No considera rechazo
Galería Sección: Excavada 4,4 x 4,3 [mxm]	Galería de Zanja	[m]	156,6	178,6	-22	Se considera fortificada con Perno + Malla a toda su longitud independientemente de que después haya que romper para conectar con otra galería
	Excavación	[m <sup>3</sup> ]	2.637,5	3.008,1	-371	No considera sobre excavación
	Apernado 1 x 1	[un]	1.741	1.985	-244	Considera el área expuesta por galería
	Malla	[m <sup>2</sup> ]	2.262,1	2.579,8	-318	Considera el área expuesta por galería y un 30% de traslape
Desquinces Esquinas Excavada 4,8 x 4,5 [mxm]	Excavación	[m <sup>3</sup> ]	788,9	1.435,9	-647	Curvas de Acceso en Intersecciones sin sobre excavación
	Apernado 1 x 1	[un]	1.260	1.620	-360	Considera el área expuesta por galería
	Malla	[m <sup>2</sup> ]	1.613,4	2.088,1	-475	Considera el área expuesta por galería y un 30% de traslape
	Shotcrete	[m <sup>3</sup> ]	124,1	160,6	-37	No considera rechazo
Construcción Puntos	[un]	20	20	0		
Marcos de Acero	[un]	60	60	0	3 marcos por cada punto	
Pavimentos	[m <sup>3</sup> ]	361,5	334,8	27	Incluye el pavimento del punto de extracción	
Muro de Contención	[m <sup>3</sup> ]	187,3	136,2	51	Se consideran las cajas expuestas al tránsito del LHD	
Cables	[un]	320	360	-40	Cables de 9 metros	
Chimenea Piloto	Desarrollos Verticales	[m]	137,0	137,0	0	10 Bateas. No considera sobre excavación
	Excavación 1,5 [m] de φ	[m <sup>3</sup> ]	242,1	242,1	0	10 Bateas. No considera sobre excavación
Perforación Batea	Fase 1 Tiros de 3"	[mb]	3.014,0	3.108,0	-94	10 Bateas.
	Número de Tiros	[un]	200,0	200,0	0	
	Fase 2 Tiros de 3"	[mb]	5.882,0	5.605,2	277	
	Número de Tiros	[un]	380,0	360,0	20	
Batea	Excavación	[m <sup>3</sup> ]	28.100,0	33.110,0	-5.010	10 Bateas. No considera sobre excavación

Tabla 5: Cubicación Comparativa MEX Operativizada

Resumen por Módulo	[un]	Malla de Extracción		
		Teniente	Mixta Operativizada	Diferencia con Tte.
Desarrollos Horizontales	[m]	537	492	45
Excavaciones	[m <sup>3</sup> ]	39.048	43.791	-4.743
	[t]	103.477	116.045	-12.568
Pernos	[un]	7.469	7.285	184
Malla	[m <sup>2</sup> ]	9.684	9.451	233
Shotcrete	[m <sup>3</sup> ]	565	524	41
Pavimentos	[m <sup>3</sup> ]	362	335	27
Hormigones Muros	[m <sup>3</sup> ]	187	136	51
Cables	[un]	320	360	-40
Puntos de Extracción	[un]	20	20	0
Marcos de Acero	[un]	60	60	0
Desarrollos Verticales	[m]	137	137	0
Metros Barrenados	[mb]	8.896	8.713	183
Número de Tiros	[un]	580	560	20

Tabla 6: Resumen de Cubicación Comparativa MEX Operativizada

Resumen por Área (6.800 m <sup>2</sup> )	[un]	Malla de Extracción		
		Teniente	Mixta Operativizada	Diferencia con Tte.
Desarrollos Horizontales	[m]	0,079	0,072	8,4%
Excavaciones	[m <sup>3</sup> ]	5,742	6,440	-12,1%
	[t]	15,217	17,066	-12,1%
Pernos	[un]	1,098	1,071	2,5%
Malla	[m <sup>2</sup> ]	1,424	1,390	2,4%
Shotcrete	[m <sup>3</sup> ]	0,083	0,077	7,3%
Pavimentos	[m <sup>3</sup> ]	0,053	0,049	7,4%
Hormigones Muros	[m <sup>3</sup> ]	0,028	0,020	27,3%
Cables	[un]	0,047	0,053	-12,5%
Puntos de Extracción	[un]	0,003	0,003	0,0%
Marcos de Acero	[un]	0,009	0,009	0,0%
Desarrollos Verticales	[m]	0,020	0,020	0,0%
Metros Barrenados	[mb]	1,308	1,281	2,1%
Número de Tiros	[un]	0,085	0,082	3,4%

Tabla 7: Resumen de Cubicación Comparativa MEx por área de influencia

Normalización respecto a MEx Teniente	Malla de Extracción		
	Teniente	Mixta Original	Mixta Operativizada
Desarrollos Horizontales	1	0,92	0,92
Excavaciones	1	1,11	1,12
Pernos	1	0,93	0,98
Malla	1	0,93	0,98
Shotcrete	1	0,87	0,93
Pavimentos	1	0,85	0,93
Hormigones Muros	1	0,77	0,73
Cables	1	0,88	1,13
Puntos de Extracción	1	1,00	1,00
Marcos de Acero	1	1,00	1,00
Desarrollos Verticales	1	1,00	1,00
Metros Barrenados	1	0,98	0,98
Número de Tiros	1	0,97	0,97

Tabla 8: Normalización de Obras respecto a MEx Teniente

En general el diseño Operativizado respecto al Original incrementa la mayoría de las obras en favor de presentar mejores condiciones para la operación de los equipos LHD, en comparación con el diseño conceptual y el Mixto original. Esto es resultado de la operativización del diseño.

## 4 EVALUACIÓN COMPARATIVA ENTRE MEX TIPO TENIENTE Y MIXTAS

En este capítulo, se realizará la evaluación comparativa entre los diseños la cual se realizará según el siguiente esquema:

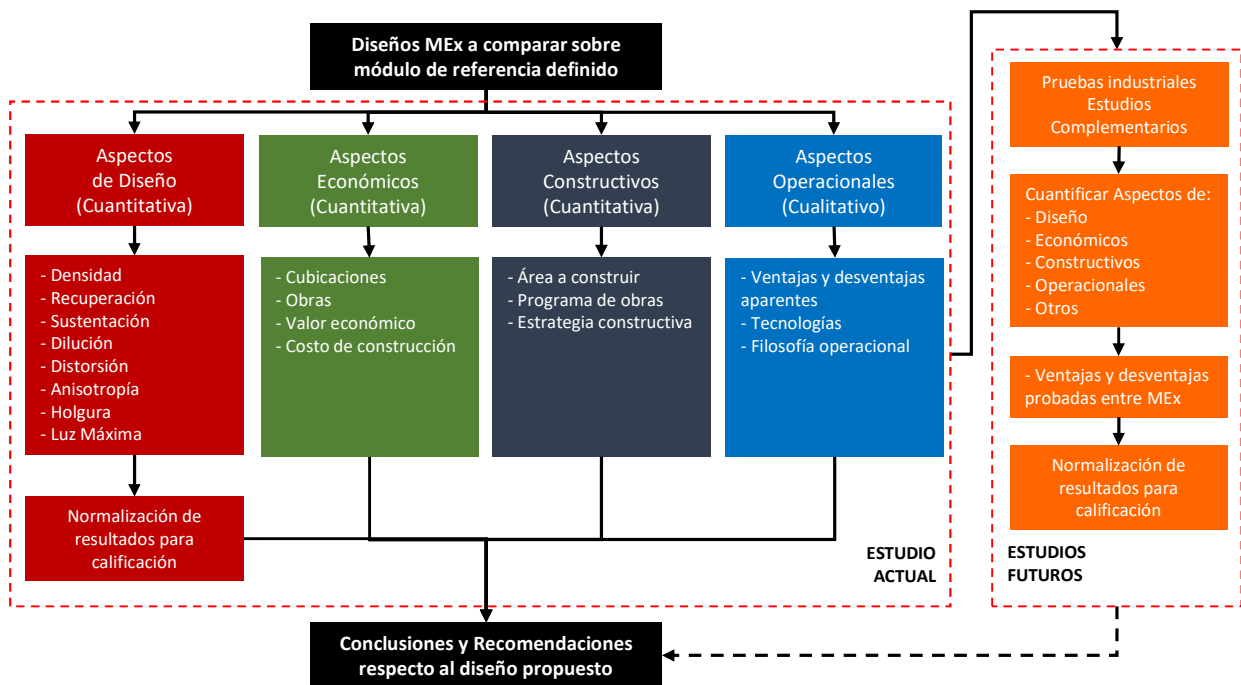
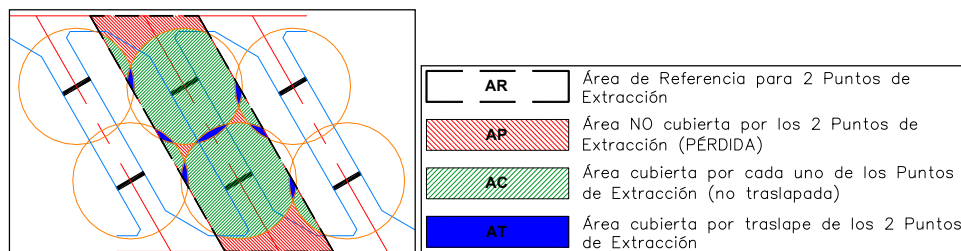


Figura 53: Esquema de Evaluación comparativa entre MEx

### 4.1 Criterios de Evaluación de MEx

La evaluación de las configuraciones de MEx considerará los siguientes indicadores (Chacón 1980):

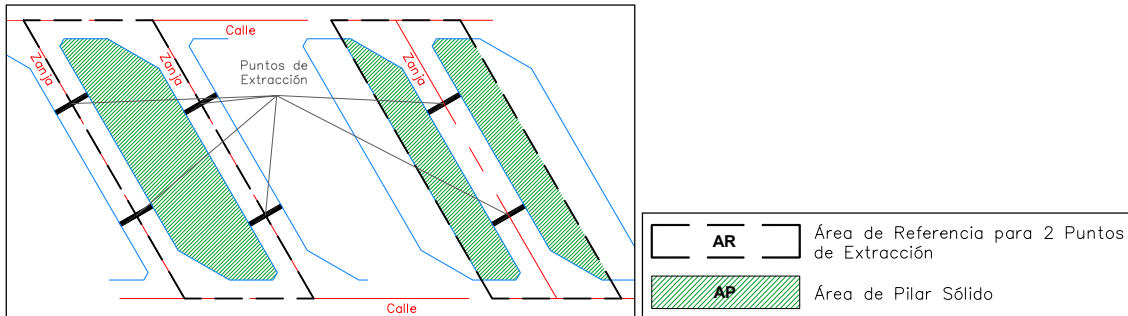
- **Densidad de la MEx:** Es una medida definida por los espaciamientos entre PEx de la MEx (40 [m<sup>2</sup>], 200 [m<sup>2</sup>], etc.). Equivale al área de influencia de cada PEx o cuanto abarca cada PEx. Una roca competente permite una mayor área de influencia, es decir un mayor espaciamiento entre PEx.
- **Recuperación o Aprovechamiento (%):** Corresponde al área cubierta por la influencia de los PEx, respecto al área cubierta por el diseño sobre el cual se evalúa la MEx. El diseño de una MEx debe buscar maximizar este indicador.



$$\text{Recuperación} = \frac{(AR - AP) \times 100}{AR} = \frac{(AC + AT) \times 100}{AR} \quad [\%]$$

Figura 54: Ilustración de Áreas asociadas a 2 PEx

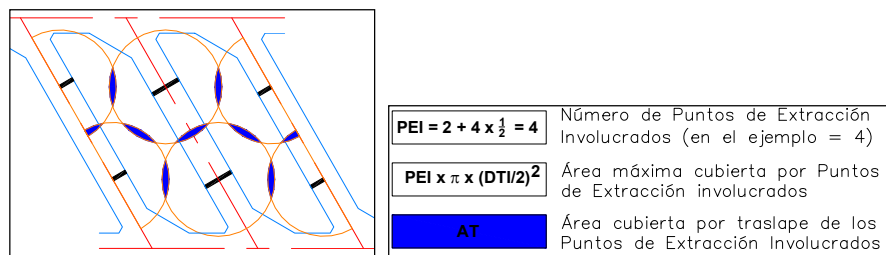
- **Sustentación (%):** Corresponde al área de pilar sólido que se queda posteriormente a la realización de las excavaciones de calles y zanjas, respecto al área delimitada por los ejes de las calles y zanjas excavadas. También es equivalente, a considerar el área de pilar sólido como la suma de los semi-pilares laterales correspondientes a cada PEx, como se muestra en la figura. El diseño de una MEx debe buscar maximizar este indicador mejorando las condiciones de estabilidad.



$$\text{Sustentación} = \frac{AP \times 100}{AR} \quad [\%]$$

Figura 55: Áreas asociadas al pilar generado por 2 PEx (Geometrías equivalentes)

- **Efecto Dilución (%):** Corresponde al área compartida (traslape) de la interacción en los PEx, respecto al área generada por el Diámetro de Tiraje Interactivo de cada PEx. Este indicador permite determinar el aprovechamiento del área generada por el DTI cuando se traslapan sus interacciones, respecto al área generada por el DTI cuando no hay traslape. Si bien se esperaría que el diseño no tuviera traslape, se debe considerar que por la geometría de las influencias de los PEx (circular), el traslape de alguna forma compensa las áreas no recuperadas entre PEx, por lo que el análisis de este indicador debe ser realizado en combinación con los demás indicadores.



$$\text{Efecto Dilución} = \frac{4 \times AT \times 100}{PEI \times \pi \times (DTI)^2} \quad [\%]$$

Figura 56: Esquema para el cálculo del Efecto Dilución

- **Distorsión MEx (Adimensional):** Es la relación que existe entre la mayor y la menor distancia entre PEx, medidos en la dirección de la galería de Zanja. Cuando la distorsión de la MEx es igual a 1, se habla de una MEx Equilátera. Este concepto se ilustra en la figura siguiente:

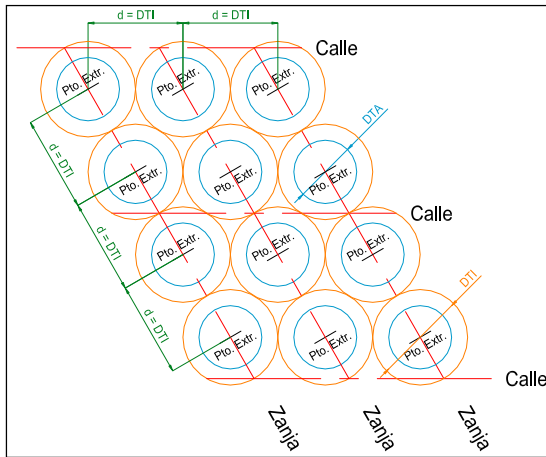
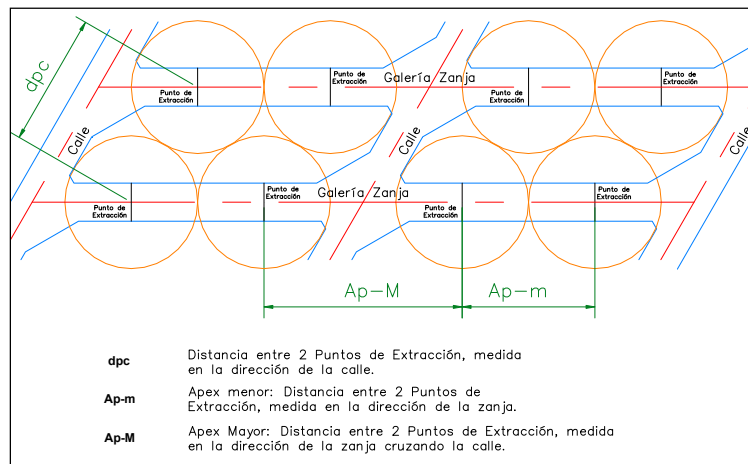


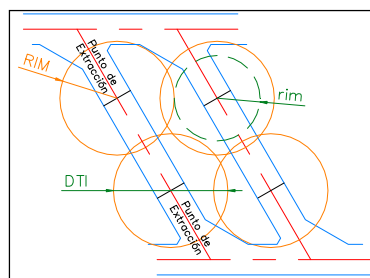
Figura 57: Esquema de MEx Equilátera



$$\text{Distorsión Malla} = \frac{\text{Apex Mayor}}{\text{Apex menor}} \quad [\text{ad.}]$$

Figura 58: Esquema para el cálculo de la Distorsión en la MEx

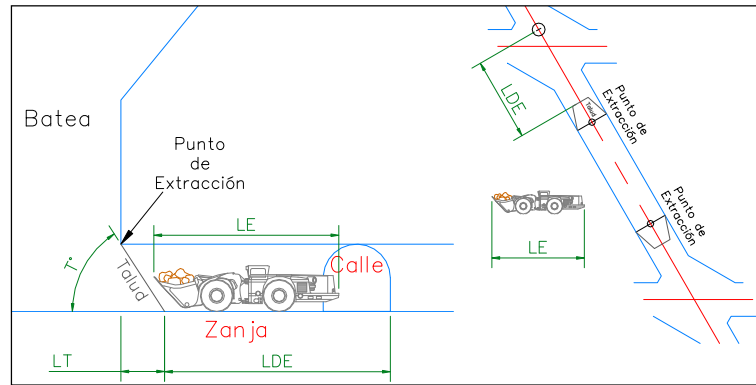
- Anisotropía (Adimensional):** Relación entre el máximo radio de influencia de un PEx, respecto al mínimo radio de influencia del mismo PEx, este último generado por la distancia desde el PEx hasta el borde del PEx vecino cuando hay traslape de áreas de interacción. Este valor es igual a "1", cuando no hay traslape del área generada por el DTI, y se incrementa mientras mayor sea el traslape de dichas áreas.



$$\text{Anisotropía} = \frac{\text{RIM}}{\text{rim}} \quad [\text{ad.}]$$

Figura 59: Esquema para el cálculo de la Anisotropía

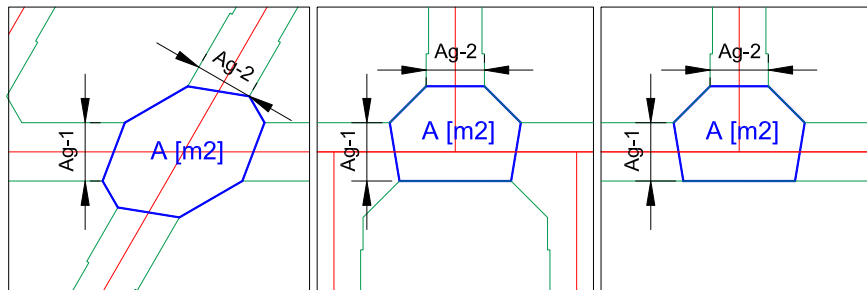
- Holgura MEx (Adimensional):** Relación entre la longitud disponible para la operación del equipo LHD, y la longitud del equipo LHD que se está evaluando. Este indicador muestra qué tan ajustado está el diseño para la operación del equipo LHD. Cabe destacar que este concepto no incluye los espacios de maniobras generados por desquinces en las esquinas (curvas de alta velocidad), que sin duda aportan a la maniobrabilidad de los equipos en el PEX, por lo que una Holgura de MEx mayor o igual a 1 garantiza que el equipo efectivamente podrá maniobrar en el sector.



$$\text{Holgura MEx} = \frac{\text{LDE}}{\text{LE}} \quad [\text{ad.}]$$

Figura 60: Esquema para el cálculo de la Holgura de la MEx

- Luz Máxima MEx (m):** Se incorpora el concepto de luz máxima (desarrollado por el autor), equivalente al área expuesta en la zona de acceso al punto de extracción, dividido por el promedio de los anchos de las galerías que convergen a dicho punto. Con ello se trata de visualizar por medio de un valor numérico, cuanto más se excava un sector por sobre el ancho promedio de las galerías que generan dicha excavación al converger entre ellas, con lo cual se puede establecer una relación con la necesidad de “sostener” (por medio de fortificación) un techo expuesto en una zona de alto tráfico de equipos y personas. En el caso de una galería, sin empalmes con otras, la luz máxima alcanza el valor igual a la longitud de la galería que está siendo evaluada, lo que equivaldría a utilizar un sostenimiento propio del desarrollo de la galería, en cambio en un sector en que se amplíe la excavación (un desquinche, un empalme, un cruce, u otra condición en torno a la galería principal, en referencia a las galerías que dan forma a esta excavación), se observará un incremento de exposición de la excavación que dependiendo de las características de la explotación, requerirá una mayor atención respecto su sostenimiento.



$$\text{Luz Máxima} = \frac{2 \times A}{\text{“Ag-1”} + \text{“Ag-2”}} \quad [\text{m}]$$

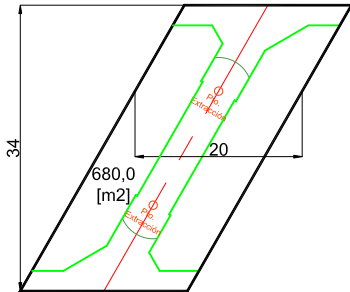
Figura 61: Esquema para el cálculo de la Luz Máxima



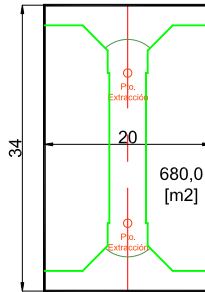
## 4.2 Evaluación del Diseño

Considerando los aspectos de diseño de una MEX, se comparan entre ellos, resultando lo siguiente:

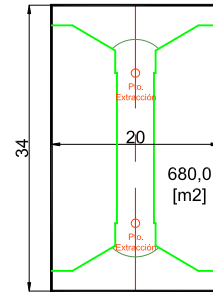
- Densidad de la MEX:



MEX Tipo Teniente



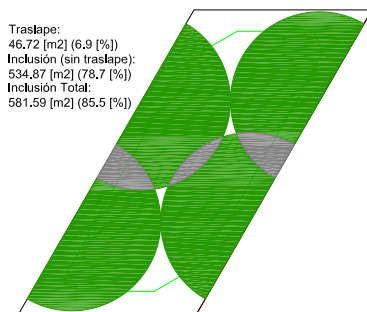
MEX Mixta



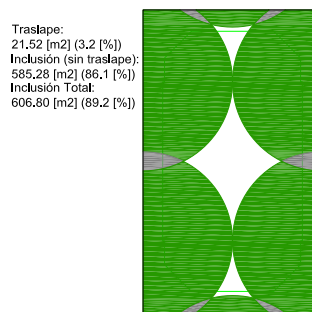
MEX Mixta Operativizada

Detalle	[un]	Malla de Extracción		
		Teniente	Mixta Original	Mixta Operativizada
Densidad (Área de Influencia de cada PEX)	[m <sup>2</sup> ]	340	340	340
Distancia entre Calles	[m]	34,0	34,0	34,0
Distancia entre Zanjas	[m]	20,0	20,0	20,0
PEX considerados	[un]	2	2	2

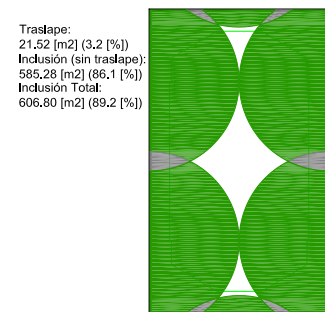
- Recuperación o Aprovechamiento (%):



MEX Tipo Teniente



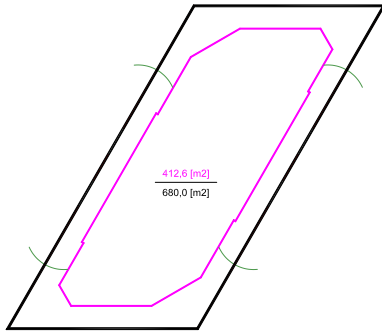
MEX Mixta



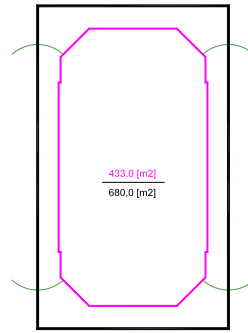
MEX Mixta Operativizada

Detalle	[un]	Malla de Extracción		
		Teniente	Mixta Original	Mixta Operativizada
Aprovechamiento	[%]	85,5%	89,2%	89,2%
Área cubierta por la extracción por PEX.	[m <sup>2</sup> ]	290,8	303,4	303,4
Área referencial asociada a un PEX.	[m <sup>2</sup> ]	340	340	340

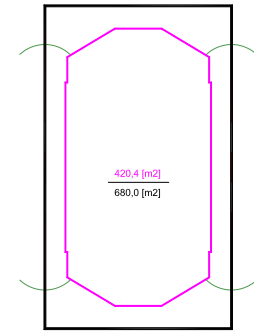
- Sustentación (%):



MEx Tipo Teniente



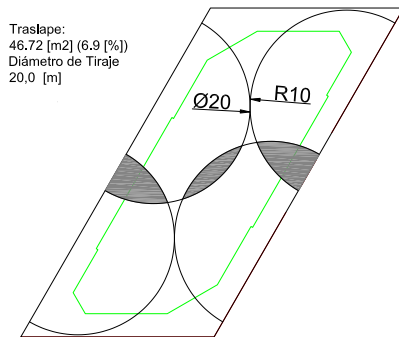
MEx Mixta



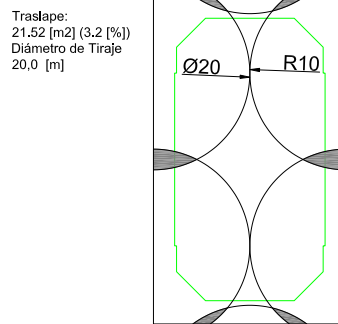
MEx Mixta Operativizada

Detalle	[un]	Malla de Extracción		
		Teniente	Mixta Original	Mixta Operativizada
<b>Sustentación</b>	[%]	<b>60,7%</b>	<b>63,7%</b>	<b>61,8%</b>
Área de pilar sólido	[m <sup>2</sup> ]	412,6	433,0	420,4
Área tributaria 2 PEx	[m <sup>2</sup> ]	680	680	680

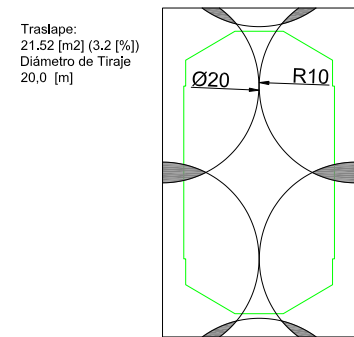
- Efecto Dilución (%):



MEx Tipo Teniente



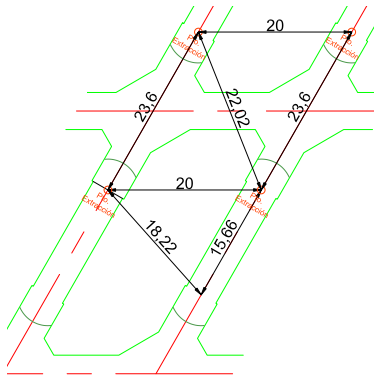
MEx Mixta



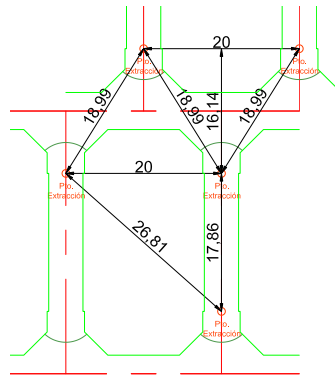
MEx Mixta Operativizada

Detalle	[un]	Malla de Extracción		
		Teniente	Mixta Original	Mixta Operativizada
<b>Dilución</b>	[%]	<b>7,4%</b>	<b>3,4%</b>	<b>3,4%</b>
Área Traslapada	[m <sup>2</sup> ]	46,7	21,5	21,5
Cantidad de PEx	[un]	2	2	2
Diámetro de Tiraje Interactivo	[m]	20,0	20,0	20,0

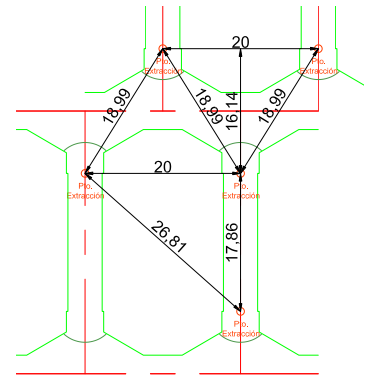
- Distorsión MEx (Adimensional):



MEx Tipo Teniente



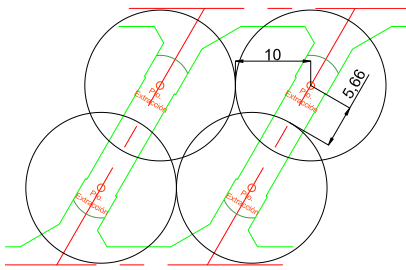
MEx Mixta



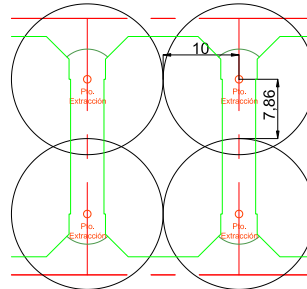
MEx Mixta Operativizada

Detalle	[un]	Malla de Extracción		
		Teniente	Mixta Original	Mixta Operativizada
<b>Distorsión</b>	[-]	<b>1,51</b>	<b>0,90</b>	<b>0,90</b>
Mayor distancia entre PEx (dirección Zanja)	[m]	23,6	16,1	16,1
Menor distancia entre PEx (dirección Zanja)	[m]	15,7	17,9	17,9

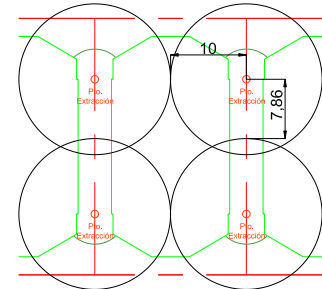
- Anisotropía (Adimensional):



MEx Tipo Teniente



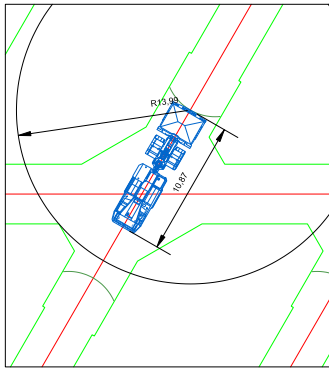
MEx Mixta



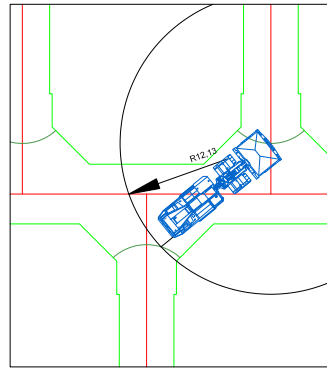
MEx Mixta Operativizada

Detalle	[un]	Malla de Extracción		
		Teniente	Mixta Original	Mixta Operativizada
<b>Anisotropía</b>	[-]	<b>1,77</b>	<b>1,27</b>	<b>1,27</b>
Máximo radio de influencia PEx	[m]	10,0	10,0	10,0
Mínimo radio de influencia PEx	[m]	5,66	7,86	7,86

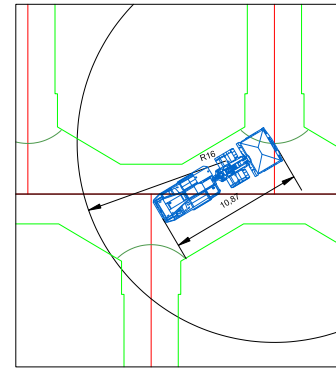
- Holgura MEx (Adimensional)



MEx Tipo Teniente



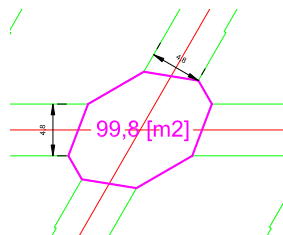
MEx Mixta



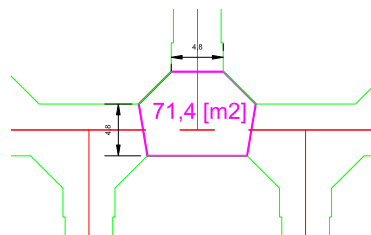
MEx Mixta Operativizada

Detalle	[un]	Malla de Extracción		
		Teniente	Mixta Original	Mixta Operativizada
<b>Holgura</b>	[-]	<b>1,30</b>	<b>1,12</b>	<b>1,48</b>
<i>Longitud LHD Referencial</i>	[m]	10,8	10,8	10,8
<i>Distancia de maniobras</i>	[m]	13,99	12,08	16,00

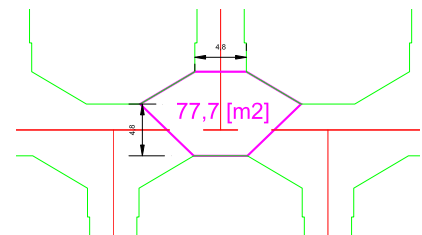
- Luz Máxima MEx (m):



MEx Tipo Teniente



MEx Mixta



MEx Mixta Operativizada

Detalle	[un]	Malla de Extracción		
		Teniente	Mixta Original	Mixta Operativizada
<b>Luz Máxima</b>	[m]	<b>20,8</b>	<b>14,9</b>	<b>16,2</b>
<i>Área expuesta en empalme de galerías.</i>	[m <sup>2</sup> ]	99,8	71,4	77,7
<i>Ancho Galería Excavada</i>	[m]	4,8	4,8	4,8

Resumiendo, los resultados obtenidos son los siguientes:

Detalle	[un]	Malla de Extracción			Observaciones
		Teniente	Mixta Original	Mixta Operativizada	
Densidad	[m <sup>2</sup> ]	340	340	340	Área de Influencia de cada PEx. Se refieren a la misma área, no se diferencian entre sí.
Aprovechamiento	[%]	85,5%	89,2%	89,2%	Área cubierta por la influencia de los PEx. Mayor valor favorece al diseño.
Sustentación	[%]	60,7%	63,7%	61,8%	Área de pilar sólido respecto al área de influencia. Mayor valor favorece al diseño.
Luz Máxima	[m]	20,8	14,9	16,2	Área expuesta en empalme de galerías, respecto al ancho de galería. Menor valor favorece al diseño.
Dilución	[%]	7,4%	3,4%	3,4%	Área compartida de la interacción en los PEx. Menor valor favorece al diseño.
Distorsión	[-]	1,51	0,90	0,90	Relación entre mayor y menor distancia entre PEx, en dirección de GZ. Valor más cercano a 1 favorece el diseño.
Anisotropía	[-]	1,77	1,27	1,27	Relación entre el máximo radio de influencia de un PEx, y el mínimo. Valor más cercano a 1 favorece el diseño.
Holgura	[-]	1,30	1,12	1,48	Considerando un equipo de 10,8 [m] y espacio hasta lo 1° que tope. Mayor valor favorece al diseño.

Tabla 9: Resumen Evaluación Comparativa MEX

En base a los resultados anteriores se puede decir que la MEX Mixta (conceptual y operativizada) ofrece mejores condiciones para la explotación, dado que aprovecha mejor el área, tiene una mayor sustentación, disminuye las luces en las excavaciones, diluye menos, se aproxima más a un diseño de distribución equilátera de los PEx, es más equilibradas geométricamente y a pesar de que la holgura para el uso de los equipos en el diseño tipo Teniente es mayor que el caso de la MEX Mixta Original, podemos apreciar que la MEX Mixta Operativizada mejora dicha condición, permitiendo utilizar de mejor forma los equipos.

Probablemente al realizar estudios más detallados podría llegarse a un diseño ajustado según la necesidad, y como se pudo observar en el caso del valor en la Holgura con un pequeño ajuste operativo mejoró notablemente desde la MEX Mixta original a la operativizada.

Para evaluar comparativamente los aspectos de diseño, se establecerá un puntaje a cada aspecto, de tal forma que mantengan entre ellos un orden de magnitud equivalente, y en base a una ponderación del evaluador se establezcan las diferencias según las prioridades que se le asigne a cada aspecto. Con esto se tiene lo siguiente:

- **Densidad:** Dado que los diseños analizados se realizan sobre una misma área de influencia, para que sean comparables, la densidad de la MEX no se considerará en la evaluación, dado que es la misma para cada caso.
- **Aprovechamiento (Ap):** Mientras mayor sea, el diseño se ve favorecido, siendo su valor máximo el 100%, por lo que se utilizará directamente su valor como calificación respecto al promedio de los valores obtenidos para cada MEX.

$$\text{Calificación} = \% \text{ Ap}$$

- **Sustentación (S):** Mientras mayor sea, el diseño se ve favorecido, siendo su valor máximo el 100%, por lo que se utilizará directamente su valor como calificación respecto al promedio de los valores obtenidos para cada MEX.

$$\text{Calificación} = \% \text{ S}$$

- **Dilución (DI):** Mientras menor sea, el diseño se ve favorecido, siendo su valor un porcentaje se utilizará la diferencia entre el 100% y su valor como calificación.

$$\text{Calificación} = 100 - \% DI$$

- **Distorsión (Ds):** Mientras menor sea el valor de su diferencia respecto a la unidad (hacia arriba o abajo), el diseño se ve favorecido, por lo que se restará a 100 el valor absoluto de la diferencia entre la unidad y el valor de Ds.

$$\text{Calificación} = 100 - ABS ( 1- Ds )$$

- **Anisotropía (An):** Mientras menor sea el valor de su diferencia respecto a la unidad (hacia arriba o abajo), el diseño se ve favorecido, por lo que se restará a 100 el valor absoluto de la diferencia entre la unidad y el valor de An.

$$\text{Calificación} = 100 - ABS ( 1- An )$$

- **Holgura (H):** Mientras mayor sea por sobre la unidad, el diseño se ve favorecido en su operatividad (con LHD), por lo que a 100 se le restará el inverso de la diferencia de su valor para cada MEx con la unidad.

$$\text{Calificación} = 100 - 1 / ( H - 1 )$$

- **Luz Máxima (L) (Le-Feaux):** Mientras menor sea el valor, el diseño se ve favorecido, por lo que se restará a 100 el valor de L.

$$\text{Calificación} = 100 - L$$

Finalmente, disponiendo de cada una de las calificaciones debe establecerse un criterio de ponderación que dependerá del “peso” que cada diseñador le dé a cada aspecto, que en algunos casos podría ser privilegiar la estabilidad, en otros las condiciones operacionales, etc., y para efectos de análisis se presentarán distintas evaluaciones en base a distintos criterios a juicio del diseñador, para observar si se producen diferencias importantes en la calificación final de cada diseño.

En resumen, se tiene lo siguiente:

Detalle	Peso [%]	Normalización para Evaluación			Observaciones
		MEx Teniente	MEx Mixta Original	MEx Mixta Operativizada	
Aprovechamiento	15%	85,5	89,2	89,2	Evaluación que prioriza los aspectos de estabilidad del diseño.
Sustentación	20%	60,7	63,7	61,8	
Luz Máxima	20%	79,2	85,1	83,8	
Dilución	15%	92,6	96,6	96,6	
Distorsión	10%	99,5	99,9	99,9	
Anisotropía	10%	99,2	99,7	99,7	
Holgura	10%	96,6	91,6	97,9	
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>84,2</b>	<b>86,7</b>	<b>86,7</b>	

Tabla 10: Evaluación en Base a Estabilidad

Detalle	Peso [%]	Normalización para Evaluación			Observaciones
		MEx Teniente	MEx Mixta Original	MEx Mixta Operativizada	
Aprovechamiento	20%	85,5	89,2	89,2	Evaluación que prioriza los aspectos productivos del diseño.
Sustentación	10%	60,7	63,7	61,8	
Luz Máxima	10%	79,2	85,1	83,8	
Dilución	15%	92,6	96,6	96,6	
Distorsión	10%	99,5	99,9	99,9	
Anisotropía	10%	99,2	99,7	99,7	
Holgura	25%	96,6	91,6	97,9	
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>89,0</b>	<b>90,1</b>	<b>91,3</b>	

Tabla 11: Evaluación en Base a Productividad

Detalle	Peso [%]	Normalización para Evaluación			Observaciones
		MEx Teniente	MEx Mixta Original	MEx Mixta Operativizada	
Aprovechamiento	15%	85,5	89,2	89,2	Evaluación que prioriza los aspectos geométricos del diseño.
Sustentación	10%	60,7	63,7	61,8	
Luz Máxima	10%	79,2	85,1	83,8	
Dilución	15%	92,6	96,6	96,6	
Distorsión	20%	99,5	99,9	99,9	
Anisotropía	20%	99,2	99,7	99,7	
Holgura	10%	96,6	91,6	97,9	
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>90,1</b>	<b>91,8</b>	<b>92,1</b>	

Tabla 12: Evaluación en Base a Geometría

Detalle	Peso [%]	Normalización para Evaluación			Observaciones
		MEx Teniente	MEx Mixta Original	MEx Mixta Operativizada	
Aprovechamiento	10%	85,5	89,2	89,2	Evaluación que prioriza los aspectos del diseño favorables a la operación de los equipos.
Sustentación	15%	60,7	63,7	61,8	
Luz Máxima	15%	79,2	85,1	83,8	
Dilución	10%	92,6	96,6	96,6	
Distorsión	10%	99,5	99,9	99,9	
Anisotropía	10%	99,2	99,7	99,7	
Holgura	30%	96,6	91,6	97,9	
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>87,6</b>	<b>88,3</b>	<b>89,8</b>	

Tabla 13: Evaluación en Base a Operación LHD

Detalle	Peso [%]	Normalización para Evaluación			Observaciones
		MEx Teniente	MEx Mixta Original	MEx Mixta Operativizada	
Aprovechamiento	14%	85,5	89,2	89,2	Evaluación sin priorizar ningún aspecto
Sustentación	14%	60,7	63,7	61,8	
Luz Máxima	14%	79,2	85,1	83,8	
Dilución	14%	92,6	96,6	96,6	
Distorsión	14%	99,5	99,9	99,9	
Anisotropía	14%	99,2	99,7	99,7	
Holgura	14%	96,6	91,6	97,9	
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>87,6</b>	<b>89,4</b>	<b>89,9</b>	

Tabla 14: Evaluación sin Priorizar

Dado que en cada uno de los aspectos la MEx Mixta (ambas) presenta mejores condiciones de diseño que la MEx tipo Teniente, el balance siempre será más favorable a la propuesta, por lo que se estima conveniente incorporar al análisis la evaluación cualitativa presentada en el capítulo 7 siguiente.

Considerando que la geometría de los elipsoides podría tener diámetros mayores a los típicamente utilizados en el diseño de MEx (Castro, Vargas, De la Huerta 2012), los criterios de evaluación de las MEx afectados por ello serían los siguientes:

- Recuperación o Aprovechamiento
- Efecto Dilución
- Anisotropía

Se puede observar que la comparación entre los diseños de MEx, el efecto de este incremento en el diámetro de tiraje tiende a igualar las evaluaciones, pero en ningún caso a perjudicar al diseño propuesto de MEx Mixta operativizada, como se observa en la siguiente tabla:

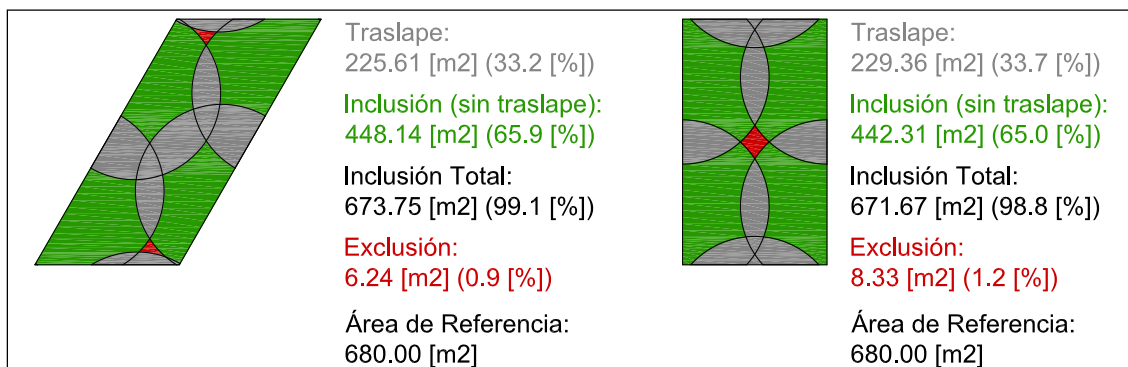


Figura 62: Comparación entre Diseños (DTI = 24 [m])



Detalle DTI = 24 [m]	[un]	Malla de Extracción		
		Teniente	Mixta Original	Mixta Operativizada
Densidad	[m <sup>2</sup> ]	340	340	340
Aprovechamiento	[%]	99,1%	98,8%	98,8%
Sustentación	[%]	60,7%	63,7%	61,8%
Luz Máxima	[m]	20,8	14,9	16,2
Dilución	[%]	24,9%	25,3%	25,3%
Distorsión	[-]	1,51	0,90	0,90
Anisotropía	[-]	3,28	2,05	2,05
Holgura	[-]	1,30	1,12	1,48

Tabla 15: Evaluación Comparativa MEx (DTI = 24 [m])

Detalle DTI = 24 [m]	Normalización para Evaluación			Observaciones
	MEx Teniente	MEx Mixta Original	MEx Mixta Operativizada	
<b>Total</b>	<b>83,5</b>	<b>84,8</b>	<b>84,8</b>	Evaluación que prioriza los aspectos de estabilidad del diseño.
<b>Total</b>	<b>88,9</b>	<b>88,6</b>	<b>89,9</b>	Evaluación que prioriza los aspectos productivos del diseño.
<b>Total</b>	<b>89,2</b>	<b>89,8</b>	<b>90,1</b>	Evaluación que prioriza los aspectos geométricos del diseño.
<b>Total</b>	<b>87,1</b>	<b>87,0</b>	<b>88,5</b>	Evaluación que prioriza los aspectos del diseño favorables a la operación de los equipos.
<b>Total</b>	<b>86,8</b>	<b>87,5</b>	<b>88,0</b>	Evaluación sin priorizar ningún aspecto

Tabla 16: Efecto en la Evaluación según distintas prioridades (DTI = 24 [m])

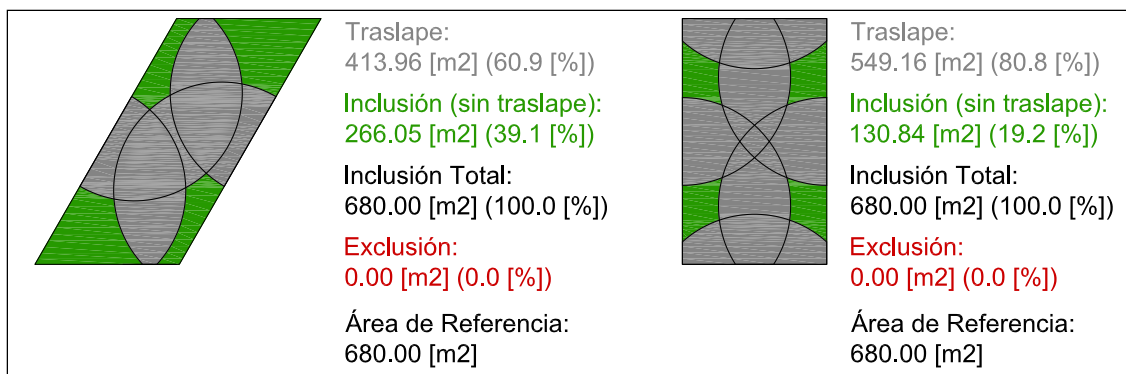


Figura 63: Comparación entre Diseños (DTI = 30 [m])

Detalle DTI = 30 [m]	[un]	Malla de Extracción		
		Teniente	Mixta Original	Mixta Operativizada
Densidad	[m <sup>2</sup> ]	340	340	340
Aprovechamiento	[%]	100,0%	100,0%	100,0%
Sustentación	[%]	60,7%	63,7%	61,8%
Luz Máxima	[m]	20,8	14,9	16,2
Dilución	[%]	29,3%	38,8%	38,8%
Distorsión	[-]	1,51	0,90	0,90
Anisotropía	[-]	10,97	5,25	5,25
Holgura	[-]	1,30	1,12	1,48

Tabla 17: Evaluación Comparativa MEx (DTI = 30 [m])

Detalle DTI = 30 [m]	Normalización para Evaluación			Observaciones
	MEx Teniente	MEx Mixta Original	MEx Mixta Operativizada	
<b>Total</b>	<b>82,2</b>	<b>82,7</b>	<b>82,7</b>	Evaluación que prioriza los aspectos de estabilidad del diseño.
<b>Total</b>	<b>87,7</b>	<b>86,5</b>	<b>87,8</b>	Evaluación que prioriza los aspectos productivos del diseño.
<b>Total</b>	<b>87,2</b>	<b>87,3</b>	<b>87,7</b>	Evaluación que prioriza los aspectos geométricos del diseño.
<b>Total</b>	<b>86,0</b>	<b>85,5</b>	<b>86,9</b>	Evaluación que prioriza los aspectos del diseño favorables a la operación de los equipos.
<b>Total</b>	<b>85,2</b>	<b>85,3</b>	<b>85,8</b>	Evaluación sin priorizar ningún aspecto

Tabla 18: Efecto en la Evaluación según distintas prioridades (DTI = 30 [m])

Se observa que el efecto del incremento en el diámetro de tiraje del elipsoide no afecta significativamente la evaluación comparativa del diseño de las MEx, sin embargo, los resultados dependerán del criterio del evaluador en cuanto a las prioridades que defina para cada aspecto.

## 5 ESTIMACIÓN DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN

Debido a que la información de costos es muy sensible para las empresas que ejecutan las obras de construcción, y dado que este estudio se ha realizado desde una postura laboral independiente (no se cuenta con patrocinante), se ha optado por utilizar datos referenciales (Le-Feaux 2019-2020) para poder hacer una comparación entre los costos de construcción de los diseños presentados, a modo de establecer si se generan diferencias importantes entre ellos que motiven a un estudio más detallado por parte de los interesados en utilizar el diseño de la MEx Mixta, adaptándolo a sus condiciones de operación.

Obra	Detalle	Estimación [US\$/un]	[un]	Malla de Extracción		
				Teniente	Mixta Original	Mixta Operativizada
Galería Sección: Excavada 4,8 x 4,5 [mxm]	Calle de Producción	2.832	[m]	200	200	200
	Excavación y Fortificación	11	[m <sup>3</sup> ]	3.826	3.826	3.826
	Acceso Punto de Extracción	2.832	[m]	181	113	113
	Excavación y Fortificación	11	[m <sup>3</sup> ]	3.454	2.169	2.169
Galería Sección: Excavada 4,4 x 4,3 [mxm]	Galería de Zanja	2.592	[m]	157	179	179
	Excavación y Fortificación	11	[m <sup>3</sup> ]	2.638	3.008	3.008
Desquinches Esquinas Excavada 4,8 x 4,5 [mxm]	Excavación y Fortificación	165	[m <sup>3</sup> ]	789	883	1.436
Construcción Puntos de Extracción		32.832	[un]	20	20	20
Pavimentos		756	[m <sup>3</sup> ]	362	309	335
Muro de Contención		4.738	[m <sup>3</sup> ]	187	143	136
Cables	Cables por Intersecciones	503	[un]	320	280	360
Intersecciones		70	[m2]	998	714	777
Chimenea Piloto		2.073	[m]	137	137	137
Perforación Batea	Fase 1 Tiros de 3"	13	[mb]	3.014	3.108	3.108
	Fase 2 Tiros de 3"	13	[mb]	5.882	5.605	5.605
Excavación Batea		11	[m <sup>3</sup> ]	28.100	33.110	33.110

Tabla 19: Obras asociadas a Costos MEX

Obra	Detalle	[un]	Malla de Extracción		
			Teniente	Mixta Original	Mixta Operativizada
Galería Sección: Excavada 4,8 x 4,5 [mxm]	Calle de Producción	[US\$]	566.449	566.449	566.449
	Excavación y Fortificación	[US\$]	42.508	42.508	42.508
	Acceso Punto de Extracción	[US\$]	511.429	321.182	321.182
	Excavación y Fortificación	[US\$]	38.379	24.102	24.102
Galería Sección: Excavada 4,4 x 4,3 [mxm]	Galería de Zanja	[US\$]	405.937	462.965	462.965
	Excavación y Fortificación	[US\$]	29.307	33.424	33.424
Desquinches Esquinas Excavada 4,8 x 4,5 [mxm]	Excavación y Fortificación	[US\$]	129.943	145.411	236.504
Construcción Puntos de Extracción		[US\$]	656.642	656.642	656.642
Pavimentos		[US\$]	273.315	233.329	253.144
Muro de Contención		[US\$]	887.393	679.804	645.177
Cables	Cables por Intersecciones	[US\$]	161.085	140.950	181.221
Intersecciones		[US\$]	69.754	49.904	54.307
Chimenea Piloto		[US\$]	284.045	284.045	284.045
Perforación Batea	Fase 1 Tiros de 3"	[US\$]	40.529	41.793	41.793
	Fase 2 Tiros de 3"	[US\$]	79.096	75.373	75.373
Excavación Batea		[US\$]	312.232	367.900	367.900
<b>TOTAL ESTIMADO Módulo de 6.800 [m2]</b>			<b>4.488.042</b>	<b>4.125.782</b>	<b>4.246.738</b>
<b>TOTAL ESTIMADO por m2</b>			<b>660,01</b>	<b>606,73</b>	<b>624,52</b>
			<b>100%</b>	<b>92%</b>	<b>95%</b>

Tabla 20: Comparación Costos MEX

Se observa que comparativamente la MEX Mixta Operativizada tiene un menor costo asociado por concepto de obras respecto a la MEX tipo Teniente.

## 6 PROGRAMA DE OBRAS

Comparar un diseño que es ampliamente utilizado en minería, con un diseño propuesto cuya experiencia de aplicación es prácticamente nula, debe considerar la comparación de los plazos en que puede construirse cada diseño, ya que una de las tendencias más frecuentes para los evaluadores es privilegiar diseños que permitan una habilitación (o puesta en servicio) lo más rápida posible, tanto por aspectos económicos (puedo retrasar

inversiones), como desde el punto de vista logístico, dado que un diseño de rápida construcción permite recuperar áreas afectadas por algún evento imprevisto, retomando así rápidamente la construcción y/u operación de dicho sector.

Considerando los resultados obtenidos en las evaluaciones anteriores, para la comparación entre programas de obras del diseño de MEx tipo Teniente versus la MEx Mixta, se considerará el diseño operativizado de la MEx Mixta, y se utilizarán criterios de construcción según los datos obtenidos de distintos documentos alusivos a programas de construcción en proyectos donde ha participado el autor de este trabajo y que el uso de estos datos ha sido debidamente autorizado (Le-Feaux 2012A, 2012B, 2012C).

Las siguientes consideraciones se aplicarán sobre los respectivos programas de obra a calcular:

**Consideraciones operativas:**

- Se consideran 30 días de trabajo al mes, en 2 turnos de 12 horas por día, con 9 horas efectivas por turno, 1 hora de entrada de turno, 1 hora de colación intermedia y 1 hora para la salida del turno.
- Las obras que no utilicen tronadura se podrán realizar a una distancia mínima de 50 metros desde la frente más cercana que esté utilizando tronadura, con el fin de evitar daños al personal y equipos involucrados en la actividad (Le-Feaux 2019-2020).
- Estimación de rendimientos en base a metodología propuesta por el autor en documento de referencia (Le-Feaux 2012C).

**Secuencia:**

- Excavación Horizontal Calles: Rendimiento estimado de 53,8 [m/mes] (Anexo A-1).
- Excavación Horizontal Zanjas: Rendimiento estimado es de 61,0 [m/mes] (Anexo A-2).
- Desquinches esquinas: Rendimiento estimado es de 704,0 [m<sup>3</sup>/mes] (Anexo A-3).
- Excavaciones en General: Dado que las excavaciones horizontales y desquinches se realizarán con los mismos recursos, y que para cada caso se tienen rendimientos diferentes (por las condiciones de la obra), se establece un rendimiento combinado en [m<sup>3</sup>/mes], que permitirá la programación de las obras en conjunto indiferentemente de la obra específica. El rendimiento referencial será de 1.004,3 [m<sup>3</sup>/mes], para MEx tipo Teniente y de 983,9 [m<sup>3</sup>/mes], para MEx Mixta Operativizada., (Anexo A-4).
- Fortificación con Cables en intersecciones: Rendimiento estimado de 17,1 [un/mes] para MEx Tipo Teniente y de 15,0 [un/mes] para MEx Mixta Operativizada (Anexo A-5).
- Construcción Puntos de Extracción: Actividad seguida a la fortificación con cables, con un rendimiento de 6,5 [un/mes], obtenido a partir del promedio de 8 [un/mes] (Le-Feaux 2012A, 2012B) y 5 [un/mes] (Le-Feaux 2019-2020). Incluye obras civiles y marcos.
- Muros de contención: Rendimiento de 4 [un/mes] (Le-Feaux 2019-2020), equivalentes a 93,6 [m/mes].
- Pavimentos: Rendimiento estimado de 126,8 [m<sup>3</sup>/mes] (Anexo A-6).
- Chimenea Piloto Batea: Rendimiento estimado de 3,53 [un/mes] (Anexo A-7).
- Perforación y Tronadura de Bateas: Rendimiento de 10,0 [Bateas/mes] (Anexo A-8).

En resumen, para obtener un programa de obras comparativo entre ambos diseños, se utilizarán los siguientes valores:

Obra	Detalle	[un]	Malla de Extracción		Rendimiento		[un]
			Teniente	Mixta Operativizada	Teniente	Mixta Operativizada	
Galería Sección Excavada 4,8 x 4,5 [mxm]	Calle de Producción	[m]	200	200	53,8		[m/mes]
	Acceso PEx	[m]	180,6	113,4	53,8		[m/mes]
Galería Sección Excavada 4,4 x 4,3 [mxm]	Galería de Zanja	[m]	156,6	178,6	61,0		[m/mes]
Desquinches Esquinas Excavada 4,8 x 4,5 [mxm]	Excavación	[m³]	788,9	1.435,9	704,0		[m³/mes]
Cables	Intersecciones	[un]	10	10	17,1	15,0	[un/mes]
Construcción Puntos		[un]	20	20	6,5		[un/mes]
Muro de Contención		[m]	468,2	340,4	93,6		[m/mes]
Pavimentos		[m³]	361,5	334,8	126,8		[m³/mes]
Chimenea Piloto	Desarrollos Verticales	[m]	10,0	10,0	3,53		[un/mes]
Perforación Batea	Fase 1	[un]	10,0	10,0	12,0		[un/mes]
	Fase 2	[un]	10,0	10,0	40,0		[un/mes]
Batea	Excavación	[un]	10,0	10,0	10,0		[un/mes]

Tabla 21: Resumen Rendimientos para Programa de Construcción

En base al detalle indicado en el Anexo B, se tiene el siguiente resumen de obras distribuidas cronológicamente, para cada uno de los diseños analizados:

Obra	Total	[un]	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	Mes 13	Mes 14	Mes 15	Mes 16	Mes 17	Mes 18	Mes 19	Mes 20	
Excavaciones	537,2	[m]	48	50	50	50	54	50	50	50	50	50	34										
Fortificación con Cables	10,0	[un]					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
Construcción PEx	20,0	[un]						2	2	2	2	2	2	2	2	2	2						
Muros de Contención	468,2	[m]						47	47	47	47	47	47	47	47	47	47						
Pavimentos	361,6	[m³]										81	100			81	100						
Chimeneas Piloto	10,0	[m³]											2	3			2	3					
Bateas	10,0	[m³]																	5	5			

Tabla 22: Cronograma Mensual de Obras MEx tipo Teniente

Obra	Total	[un]	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	Mes 13	Mes 14	Mes 15	Mes 16	Mes 17	Mes 18	Mes 19	Mes 20	
Excavaciones	492,0	[m]	44	53	42	47	45	49	46	46	46	45	29										
Fortificación con Cables	10,0	[un]					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
Construcción PEx	20,0	[un]						2	2	2	2	2	2	2	2	2	2						
Muros de Contención	340,4	[m]						34	34	34	34	34	34	34	34	34	34						
Pavimentos	334,8	[m³]										75	92			75	92						
Chimeneas Piloto	10,0	[m³]											2	3			2	3					
Bateas	10,0	[m³]																	5	5			

Tabla 23: Cronograma Mensual de Obras MEx Mixta Operativizada

De la comparación entre los cronogramas, se puede observar que no se aprecian diferencias en la distribución temporal de las obras, a pesar de que las cantidades (volúmenes de obras) son diferentes, la interdependencia de las actividades de construcción y habilitación de las obras en este tipo de explotación no permite aprovechar de una forma notable dichas diferencias.

No obstante, lo anterior, lo relevante del resultado es que la construcción del diseño propuesto (MEx Mixta Operativizada), al menos no genera un mayor tiempo para su construcción en comparación con el diseño de MEx tipo Teniente, en ese sentido se puede decir que son equivalentes, y ante una menor cantidad de obras, resulta más económica desde el punto de vista constructivo.

Se estima que, ante un área a construir de mayor envergadura, podrían darse algunas diferencias más importantes en los plazos de construcción. Una de las ventajas que

podría observarse es que, al requerir menos obras, y mantener los plazos, se generaría una pequeña holgura para realizar las obras, lo cual disminuye el riesgo de incumplimiento de los programas de construcción.

## 7 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE DISEÑOS DE MEX

La MEx Operativizada incorpora mejoras al diseño respecto a la original, evaluadas numéricamente, sin embargo, se debe realizar un análisis comparativo entre las MEx tipo teniente y la MEx Mixta Operativizada, teniendo en cuenta los aspectos que numéricamente aún no están tabulados, y que requerirían implementar el diseño o realizar pruebas operacionales que permitieran evaluar comparativa y cuantitativamente ambos diseños.

En este sentido se ha desarrollado un análisis cualitativo de ambos diseños, en base a la experiencia y a la proyección que se puede generar en la aplicación del diseño propuesto, y lo que significaría su implementación respecto a lo que se conoce de la MEx tipo Teniente.

Se indica como:

- **(+)** Cuando se estima que el diseño favorece el aspecto indicado.
- **(-)** Cuando se estima que el diseño NO favorece el aspecto indicado.
- **(=)** Cuando no se detecta una diferencia marcada.

De los aspectos más relevantes que pueden observarse, se indican a continuación:

Aspecto	Evaluación MEx Tipo Teniente	Evaluación MEx Mixta
Tamaño de LHD	<b>(-)</b> Limita su diseño por tamaño del LHD. La ubicación del PEx dentro de la galería de zanja queda definida por las dimensiones del equipo.	<b>(+)</b> Permite el uso de cualquier equipo LHD, que cumpla con poder transitar por las calles de producción. Para cargar no necesita entrar al PEx, solo requiere un adecuado desquinche para el acceso.
Tiempo de maniobras en PEx	<b>(-)</b> LHD debe acomodarse al entrar al PEx, lo que genera un tiempo de maniobras en el ciclo.	<b>(+)</b> Sólo requiere cambiar la dirección de tránsito, sin entrar al PEx, el tiempo de maniobra es menor.
Energía para extracción del material	<b>(-)</b> El LHD enfrenta al talud, y requiere de mayor energía para remover el material, penetrando la base de la columna mineral y cucharear bajo ella.	<b>(+)</b> El LHD corta lateralmente el talud, se estima que la energía requerida para cargar sería menor que cargar de frente.

Aspecto	Evaluación MEx Tipo Teniente	Evaluación MEx Mixta
Exposición del operador y LHD	<p align="center"><b>(-)</b></p> <p>El operador queda expuesto a deslizamiento de material desde el PEx al quedar frente.</p>	<p align="center"><b>(+)</b></p> <p>La única parte expuesta del LHD al deslizamiento es la parte frontal, balde y eje delantero.</p>
Interacción de Elipsoides de Extracción	<p align="center"><b>(-)</b></p> <p>Al definir una distancia necesaria para que el LHD maniobre en el PEx, obliga a desplazar los PEx enfrentados, lo cual dificulta la interacción entre sus elipsoides sobre el Crown Pillar.</p>	<p align="center"><b>(+)</b></p> <p>Los PEx al estar cercanos a la calle, y alternados facilita la interacción entre ellos sobre el Crown Pillar, disminuyendo la carga muerta sobre éste. Las áreas donde no hay interacción entre elipsoides están sobre los pilares entre galerías de zanja.</p>
Diseño de bateas	<p align="center"><b>(-)</b></p> <p>Las características del diseño obligan a diseñar bateas asimétricas, y al estar más cercanos los PEx que pertenecen a la batea, disminuye el área de recepción del material, lo cual podría favorecer los eventos de colgadura, respecto a un área mayor en la base de la batea.</p>	<p align="center"><b>(+)</b></p> <p>El diseño permite la aplicación de diseños para bateas simétricas, facilitando su construcción. Además, dichas bateas son más grandes en su base, por lo que debiera mejorar la condición para evitar o disminuir la frecuencia de colgaduras en los PEx.</p>
Estabilidad en intersección	<p align="center"><b>(-)</b></p> <p>Se genera una luz importante en la intersección de la calle de producción con la galería de zanja, debido a que se cruzan entre sí, y se deben habilitar desquinches en las esquinas de los pilares que permitan maniobrar a los LHD (curvas de alta velocidad). La geometría del pilar con puntas agudas hace que éste disponga de un área de resistencia efectiva menor.</p>	<p align="center"><b>(+)</b></p> <p>Al disponerse los PEx alternados, no se generan intersecciones, se forman empalmes de galerías, lo cual es mucho más estable, dado que se genera una luz expuesta menor. Además, los desquinches necesarios para habilitar curvas de alta velocidad son menores, y los pilares rectangulares, lo cual permite una mayor área efectiva del pilar sólido.</p>
Operatividad en la Construcción	<p align="center"><b>(=)</b></p> <p>Galerías en una disposición de cruce, parece ser mejor para la operatividad en la construcción, dado que se recorren tramos rectos. Sin embargo, según la dirección en la cual se transite, las maniobras de cambio de tránsito de una calle de producción a una galería de zanja podrán ser más complicadas cuando se requiera virar en una de las</p>	<p align="center"><b>(=)</b></p> <p>El hecho de que las galerías de zanja se encuentran alternadas (no alineadas), debiera generar una dificultad a la hora de transitar por ellas, siempre y cuando éstas se utilicen como acceso. Sin embargo, las maniobras de cambio de dirección de una calle de producción a una galería de zanja no debieran revestir problemas, ya que es un empalme, y al estar en 90° la maniobra</p>

Aspecto	Evaluación MEx Tipo Teniente	Evaluación MEx Mixta
	<p>esquinas agudas del pilar, lo cual dificulta las maniobras o requiere de un mayor volumen de desquinche para generar un viraje más sencillo. Dado que los equipos utilizados en construcción son de menor envergadura esto no reviste problemas.</p>	<p>debe hacerse de una forma más lenta solamente, pero esto ocurriría al transitar en ambas direcciones por la calle de producción. Dado que los equipos utilizados en construcción son de menor envergadura esto no reviste problemas.</p>
<p>Condiciones de operatividad en la Producción</p>	<p style="text-align: center;"><b>(-)</b></p> <p>Los LHD deben cambiar de sentido de tránsito para poder acceder a todos los PEx, lo cual obliga al equipo a cargar durante un tiempo en un sentido y después trasladarse a algún frontón de inversión para hacer el cambio y así cargar en los PEx que no tenía acceso anteriormente. Si el frontón de inversión está cerca, esto no reviste problemas dado que podría hacer la maniobra de inversión al ir a descargar en una de las oportunidades, pero en la medida que se va alejando de este frontón la maniobra se hace cada vez más demorosa afectando el ciclo.</p>	<p style="text-align: center;"><b>(+)</b></p> <p>Los LHD no necesitan cambiar de sentido para acceder a los PEx, dado que el empalme es simétrico en cada punto. Esto significa que el ciclo no sufre efectos por traslado hacia puntos de inversión para los LHD, pudiendo alcanzar mejores índices de productividad.</p>
<p>Limpieza del acceso al PEx</p>	<p style="text-align: center;"><b>(+)</b></p> <p>Se estima que, al estar el PEx más alejado de la calle de producción, el efecto de los derrames por carguío y por deslizamiento del material, debiera estar más controlado. Sin embargo, se estima que el factor de llenado (punto a analizar más adelante), debiera ser mayor y esto favorecer la caída de material durante el tránsito por la calle de producción.</p>	<p style="text-align: center;"><b>(-)</b></p> <p>Al estar el talud más cerca de la calle de producción, además, que el equipo LHD carga el talud por el costado, se espera una mayor cantidad de material derramado en las cercanías del PEx (calle de producción), lo cual debiera ser compensado al momento de invertir el sentido de tránsito de los equipos. La limpieza del área se considera como parte de la operación, pero en este caso podría ser necesaria con una mayor frecuencia.</p>
<p>Factor de llenado del LHD</p>	<p style="text-align: center;"><b>(+)</b></p> <p>Para una misma granulometría el enfrentar el talud permite un mayor factor de llenado.</p>	<p style="text-align: center;"><b>(-)</b></p> <p>El cargar por el lado del talud, podría disminuir el factor de llenado, dado que dependerá de la geometría del talud, el que el balde pueda penetrar 100% en el material a cargar, y siempre una parte</p>



Aspecto	Evaluación MEx Tipo Teniente	Evaluación MEx Mixta
		del balde tendrá menor exposición hacia el talud que la otra.
Constructibilidad Obras y Plazos	<p align="center"><b>(=)</b></p> <p>Dada la experiencia en la construcción de este diseño, se estima que las condiciones de constructibilidad puedan ser más favorables, sin embargo, al realizar el análisis en la construcción de un módulo de referencia, se pudo apreciar que no existen diferencias relevantes en los plazos de construcción.</p>	<p align="center"><b>(=)</b></p> <p>Las condiciones de diseño sugieren que no debiera haber grandes diferencias en este aspecto, dado que constructivamente no se aprecian grandes complicaciones para las actividades de construcción. Al realizar el análisis en la construcción de un módulo de referencia, se pudo apreciar que no existen diferencias relevantes en los plazos de construcción.</p>
Costos de Construcción	<p align="center"><b>(-)</b></p> <p>Considerando una mayor cantidad de obras de este diseño (excavaciones y fortificación), se estima que los costos de construcción debieran ser mayores. Sin embargo, con los antecedentes utilizados se observa que hay diferencias menores en este aspecto.</p>	<p align="center"><b>(+)</b></p> <p>El menor volumen de obras necesarias (entre el 8% y 23% según el ítem de obras), se estima que los costos globales de construcción serán menores. Sin embargo, con los antecedentes utilizados se observa que hay diferencias menores en este aspecto.</p>
Modificación del Flujo	<p align="center"><b>(=)</b></p> <p>El enfrentar el talud debiera garantizar que la geometría del flujo sobre el PEx sea simétrica, por lo que se espera que no se generen variaciones en el flujo.</p>	<p align="center"><b>(=)</b></p> <p>Se estima que esta variación no sería significativa, y podría ser compensada al alternar la extracción de un lado y del otro (una cantidad de paladas extraídas desde un sentido de la calle de producción y otra igual en el otro). Otro aspecto importante en este caso es la geometría del techo del PEx, ya que la deformación del flujo podría verse favorecida en una sección cuadrada del techo en el PEx, lo cual podría ser compensada al disponer de una sección semicircular.</p>
Diseño Probado	<p align="center"><b>(+)</b></p> <p>Siempre será una garantía de éxito, el contar y construir un diseño probado, y en este sentido son años de uso de este diseño.</p>	<p align="center"><b>(-)</b></p> <p>Si bien este diseño no ha sido probado, presenta ventajas que podrían justificar su aplicación, o al menos un mayor análisis de sus efectos.</p>

Aspecto	Evaluación MEx Tipo Teniente	Evaluación MEx Mixta
Uso de equipos eléctricos	(-) El requerir invertir el equipo para acceder a todos los PEX, se presentan dificultades para la utilización de equipos eléctricos con cables. No obstante, para equipos con baterías o trolley no debiera generar problemas en su operación.	(+) En el caso de equipos eléctricos con cables, este diseño presenta la ventaja que puede ser utilizado sin problemas al no requerir la inversión del equipo en su operación.
Sistemas de operación Autónomos o Semiautónomos	(-) Al requerir invertir el equipo y maniobrar en el PEX, se hace menos fácil la aplicación de sistemas de automatización, sin embargo, hoy se utilizan.	(+) El menor requerimiento de maniobras en el PEX, facilita la aplicación de sistemas de operación remota y autónoma, además del hecho de no requerir invertir los equipos.
Operación de Reducción Secundaria	(+) El que el PEX esté más alejado de la calle de producción, permite realizar actividades de reducción secundaria con una menor exposición de la infraestructura asociada a la calle de producción.	(-) Al estar más cercano el PEX a la calle de producción, los daños asociados a la reducción secundaria podrían ser mayores.
Operación de Descuelgue de PEX	(+) El que el PEX esté más alejado de la calle de producción, permite realizar actividades de descuelgue con una menor exposición de la infraestructura asociada a la calle de producción.	(-) Al estar más cercano el PEX a la calle de producción, la operación de descuelgue se acerca también a la calle de producción, lo que podría generar interferencias o mayor necesidad de recursos para limpiar la calle de producción una vez descolgado el PEX.

Tabla 24: Análisis comparativo entre diseños de MEx

## 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1 Conclusiones

A partir de la evaluación comparativa entre los diseños analizados, se concluye que la propuesta de diseño para una nueva MEx genera diversos beneficios de diseño y operacionales, desde los puntos de vista en que fue comparada con el diseño tipo El Teniente.

- **Comparación por Cubicación de Obras:** El diseño propuesto, incrementa sus obras solamente por el número de cables en la fortificación del empalme de Calles de Producción y Galerías de Zanja, y este valor se obtuvo a partir de una estimación

muy gruesa, dado que, para definir la real envergadura de este tipo de fortificación, es necesario hacer un análisis detallado de las condiciones de estabilidad del sector. De hecho, la condición general del diseño (menor sobre carga sobre las calles de producción), podría hacer necesaria una menor robustez de fortificación en dicho sector.

Resumen por Módulo	[un]	Malla de Extracción	
		Teniente	Mixta Operativizada
Excavaciones	[m <sup>3</sup> ]	10.706	10.439
Pernos	[un]	7.469	7.285
Malla	[m <sup>2</sup> ]	9.684	9.451
Shotcrete	[m <sup>3</sup> ]	565	524
Pavimentos	[m <sup>3</sup> ]	362	335
Hormigones Muros	[m <sup>3</sup> ]	187	136
Cables	[un]	320	360
Puntos de Extracción	[un]	20	20
Marcos de Acero	[un]	60	60
Desarrollos Verticales	[m]	137	137
Metros Barrenados	[mb]	8.896	8.713
Número de Tiros	[un]	580	560

Tabla 25: Resumen de Cubicación Comparativa MEx

- **Comparación Económica:** A partir de las cubicaciones anteriores, el diseño propuesto presentó una disminución en el costo de construcción, considerando los costos referenciales utilizados. Se estima que a partir de estudios de estabilidad del diseño podrían lograrse diferencias más significativas en favor del diseño de MEx Mixta.

Obra	[un]	Malla de Extracción	
		Teniente	Mixta Operativizada
Excavaciones	[US\$]	1.723.951	1.687.134
Construcción Puntos de Extracción	[US\$]	656.642	656.642
Pavimentos	[US\$]	273.315	253.144
Muro de Contención	[US\$]	887.393	645.177
Cables	[US\$]	161.085	181.221
Intersecciones	[US\$]	69.754	54.307
Chimenea Piloto	[US\$]	284.045	284.045
Perforación Batea	[US\$]	119.625	117.167
Excavación Batea	[US\$]	312.232	367.900
<b>TOTAL ESTIMADO Módulo de 6.800 [m2]</b>	[US\$]	<b>4.488.042</b>	<b>4.246.738</b>
<b>TOTAL ESTIMADO por m2</b>	[US\$/m2]	<b>660,01</b>	<b>624,52</b>
		<b>100%</b>	<b>95%</b>

Tabla 26: Comparación Aspecto Económico MEx

- **Comparación Aspectos de Diseño:** En todos los aspectos del diseño la MEx Mixta Operativizada muestra mejores indicadores que la MEx tipo Teniente, para una misma área productiva.

Detalle	[un]	Malla de Extracción	
		Teniente	Mixta Operativizada
Densidad	[m <sup>2</sup> ]	340	340
Aprovechamiento	[%]	85,5%	89,2%
Sustentación	[%]	60,7%	61,8%
Luz Máxima	[m]	20,8	16,2
Dilución	[%]	7,4%	3,4%
Distorsión	[-]	1,51	0,90
Anisotropía	[-]	1,77	1,27
Holgura	[-]	1,30	1,48

Tabla 27: Evaluación Comparativa Aspectos de Diseño MEx

Al incrementar el diámetro de tiraje, se generan algunos cambios en las evaluaciones de ambos diseños, pero en ningún caso a perjudica en lo global al diseño propuesto de MEx Mixta operativizada.

- **Comparación Programa de Obras:** No se aprecian diferencias en la distribución temporal de las obras, a pesar de que las cantidades (volúmenes de obras) son diferentes, la interdependencia de las actividades de construcción y habilitación de las obras en este tipo de explotación no permite aprovechar de una forma notable dichas diferencias. No obstante, lo anterior, lo relevante del resultado es que la construcción del diseño propuesto (MEx Mixta), al menos no genera un mayor tiempo para su construcción en comparación con el diseño de MEx tipo Teniente, pudiendo decirse que son equivalentes, y ante una menor cantidad de obras, resulta más económica desde el punto de vista constructivo. Además, se estima que, para un área a construir de mayor envergadura, podrían darse algunas diferencias más importantes en los plazos de construcción. Una de las ventajas que podría observarse es que, al requerir menos obras, y mantener los plazos, se generaría una pequeña holgura en la construcción, lo cual disminuye el riesgo de incumplimiento de los programas de construcción.
- **Análisis Comparativo:** Si bien este punto dependerá de quienes evalúen el diseño de MEx, para efectos del estudio se pudo observar que la mayor parte de los puntos analizados, la propuesta de MEx resulta mejor evaluada (+), y en función de la importancia que se le dé a cada ítem, se podrán obtener distintos resultados.

De los aspectos evaluados comparativamente la mayoría de ellos ofrecen mejores expectativas que la MEx tipo Teniente, e incluso podrían ser mejorables en desmedro de uno u otro aspecto evaluado.

Estudios realizados respecto a la operativización del acceso al PEx, en base a simulaciones de producción (Gómez, et al, 2020), en diseños de MEx típicas, indican que se podría llegar a incrementos de productividad en el orden del 30%, considerando que el LHD sigue ingresando al PEx, lo cual se lograría aumentando el volumen de desquinche en los accesos (principalmente en la esquina aguda de los pilares), sin afectar de significativamente la estabilidad del sector, por lo cual el diseño de MEx Mixta Operativizada podría incluso mejorar ese incremento de productividad de los equipos al no tener que ingresar al PEx.

El único aspecto relevante en contra del diseño propuesto es que no se tiene experiencia en su construcción ni operación, sin embargo, el análisis realizado permite recomendar que sea sometido a estudios más detallados y rigurosos que permitan respaldar una prueba piloto a nivel industrial.

El diseño ofrece una alternativa interesante a los diseños actualmente utilizados en minería, tanto como diseño propiamente tal y como concepto de operación, por lo cual debiera avanzarse en los estudios que permitan validarlo a escala industrial.

Finalmente, el estudio presentado ofrece una interesante cantidad de oportunidades de investigación, desde el punto de vista del diseño (geométrico), geomecánico (estabilidad de las excavaciones), económico, operativo y tecnológico, para llegar a una configuración aplicable a distintas condiciones mineras, por lo cual se considera un aporte a la minería.

## 8.2 Recomendaciones

El diseño debiera mejorar algunos aspectos que permitan llegar a una evaluación cuantitativa de ellos, a través de análisis en terreno, pruebas industriales y/o simulaciones certificadas de sus efectos en el diseño.

Estos aspectos son:

- La condición de limpieza del acceso al PEx.
- Factor de llenado en balde de LHD.
- Influencia en la modificación del flujo.
- Llegar a un estatus de "Diseño probado" industrialmente.
- Operación de Reducción Secundaria.
- Colgadura y Descuelgue en PEx.
- Diseño de bateas potencialmente aplicables.
- Diseño del PEx por la influencia que podría tener en los aspectos constructivos y operativos.

Considerando lo anterior se recomienda:

- Realizar pruebas de estabilidad en laboratorio o con sistemas numéricos, del diseño propuesto de MEx Mixta Operativizada, para confirmar que efectivamente sea más estable que el diseño de MEx tipo Teniente.
- Repetir estos estudios para distintas condiciones de su uso en distintas explotaciones (proyectos), de modo de establecer en qué casos sería recomendable aplicarlo, e incluso poder definir un sector para hacer las pruebas industriales del diseño.
- Ampliar el estudio hacia el diseño de bateas como elementos complementarios del diseño de la MEx, lo cual incluye el diseño del PEx por completo, combinando aspectos de diseño, operativos y de mantenibilidad de la infraestructura asociada, dado que se observa un gran potencial de mejora sobre este aspecto.
- En la medida de lo posible, incorporar a la discusión de este diseño, a los operadores, teleoperadores y proveedores de equipos, de modo que se identifiquen más aspectos operacionales y de fabricación de los equipos LHD, que pudieran permitir mejorar el diseño o identificar problemas a solucionar.
- También esta propuesta de diseño debiera ser analizada en conjunto a los diseñadores de sistemas autónomos y semi autónomos de operación productiva, para identificar las ventajas y desventajas que ofrece el diseño a sus sistemas.
- Los involucrados en actividades complementarias a la operación de equipos LHD, también puedan identificar los aspectos operacionales que pudieran verse afectados por este diseño (Reducción secundaria, descuelgue de bateas, construcción de puntos de vaciado, limpieza, mantenibilidad de infraestructura, etc.).
- Realizar pruebas de rendimiento de los equipos asociado a este diseño, que permitan detectar ventajas y desventajas operacionales que afecten sus rendimientos, como también las condiciones de trabajo que influirían en los indicadores de mantenibilidad y disponibilidad mecánica de ellos.
- Finalmente se recomienda realizar pruebas de laboratorio que permitan determinar el efecto en el flujo de mineral que podría tener el hecho de cargar lateralmente respecto al talud. Estas pruebas debieran considerar ser realizadas con secciones

de techo recto y también con techo semicircular, dado que una geometría semicircular debiera actuar como centralizadora del flujo, con lo cual podría no generarse un tiraje preferencial. Además, debe considerarse el efecto que tendría la granulometría en este aspecto, ya que el material fino no se comportaría de la misma forma que el material grueso, pudiendo variar la geometría del talud y motivar el uso de reguladores de flujo para material fino (extensión del talud hacia la CP).

## BIBLIOGRAFÍA

- Laubscher DH, 1994: Cave Mining, the state of the art, The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, Octubre 1994, pag. 279
- Chacón J, 1980: Block Caving y LHD Reflexiones Sobre Mallas de Extracción", 1980, capítulo 4 "Criterios de Comparación".
- Castro R, Vargas R, De la Huerta F, 2012: Determination of draw point spacing in panel caving: a case study at the El Teniente Mine. The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, vol 112, n 871, Octubre 2012.
- Castro R, Trueman R, Halim A, 2007: A study of isolated draw zones in block caving mines by means of a large 3D physical model, abril 2007.
- Gómez R., Sáez K, Pino N, Labbe E, Marambio E, 2020: Analysis of extraction level layouts for block caving, Massmin 2020.
- Orellana L, 2012: Evaluación de variables de diseño del sistema de minería continua a partir de experimentación en laboratorio, septiembre 2012.
- Uribe P, 2014: Análisis de la funcionalidad y desempeño de la operación semiautónoma, en equipos de carga; acarreo y descarga en minería subterránea (Tesis para optar al grado de Magíster en Gestión y Dirección de Empresas), agosto 2014.
- Arce J, 2002: Dimensionamiento de distancias entre puntos de extracción y niveles de producción – socavación, para método panel caving en roca primaria mina El Teniente (Trabajo de Titulación), diciembre 2002.
- Rabajille A, 2017: Preparación Minera con Equipos Autónomos y Semiautónomos, (Memoria de Título).
- Le-Feaux R, 2012A: Plan de Preparación 1° Nivel de Explotación PMCHS, Memoria de Cálculo Obras Nivel de Producción "N09DM41-F13-N09DM41-7121-MDCMI04-2200-001-P" Codelco-VP, abril 2012.
- R. Le-Feaux, 2012B: Preparación Minera Primer Nivel de Explotación PMCHS (N09DM41-F13-N09DM41-7121-INFMIO4-2000-027-P) Codelco-VP, agosto 2012.
- R. Le-Feaux, 2012C: Generalidades de la Preparación Minera Subterránea y Ejemplo de Aplicación (Apunte de apoyo Departamento de Ingeniería de Minas, Universidad de Chile), agosto de 2012.
- R. Le-Feaux, 2012D: Aspectos Generales de Minería (Apunte de apoyo Departamento de Ingeniería de Minas, Universidad de Chile), abril de 2012.
- R. Le-Feaux, 2013: Propuesta de Diseño Malla de Extracción Tipo Chuquicamata "N09DM41-F15-N09DM41-7121-INFMIO4-2200-001-P" Codelco-VP, mayo 2013.
- R. Le-Feaux, 2019-2020: Recopilación variada de antecedentes de diseño, obras y rendimientos para construcción Proyecto AN-NNM.



## ANEXO A: Cálculo Ciclos y Rendimientos Obras Nivel de Producción

Se considera metodología indicada en documento de la referencia (Le-Feaux 2012C).

### Anexo A-1: Desarrollos Horizontales Calles

Considera la excavación y fortificación con Perno-Malla-Shotcrete, de las calles con sección de 4,8 x 4,5 [m<sup>2</sup>], cuyo rendimiento estimado es de 53,8 [m/mes] a partir del promedio de 36 [m/mes] como frente única (Le-Feaux 2019-2020) y de la estimación de avances para distintos tipos de roca (Le-Feaux 2012A, 2012B, 2012C), obtenido a partir de los siguientes datos:

			Sección 4,8 x 4,5 m			Unidad	
			Ancho [m]	Alto [m]	Dens. [t/m <sup>3</sup> ]		
Desarrollo según tipo de Roca			TIPO A	TIPO B	TIPO C		
Sección Teórica a Excavar			19,13	19,13	19,13	[m <sup>2</sup> ]	
Sobre-Excavación			10%	15%	20%	[%]	
Longitud Excavada real			3,04	3,04	3,04	[m]	
Número de Brazos Jumbo de Avance			2	2	2	[#]	
Tiros Huecos Rainuras			1	1	1	[#]	
Rainuras			12	12	12	[Tiros]	
Auxiliares			9	9	9	[Tiros]	
Zapateras			6	6	6	[Tiros]	
Cajas			6	6	6	[Tiros]	
Coronas			8	8	8	[Tiros]	
Detonadores Iniciadores			2	2	2	[un/disp]	
Apernado Espaciamento			1,0	1,0	0,8	[m <sup>3</sup> ]	
Apernado Paradas cada			1,0	1,0	0,8	[m <sup>3</sup> ]	
Perimetro de sección a Apernar			12	14	14	[m]	
Número de Brazos Jumbo Apernador			1	1	1	[#]	
Espesor Shotcrete			0,08	0,10	0,30	[m]	
Longitud aplicación Pavimentos						[m]	
Mantas			167,6	175,2	182,8	[t]	
Factor de Avance			80%	80%	80%	[%]	
Perforación por Tiro			3,80	3,80	3,80	[mb/tiro]	
Avance Esperado			3,04	3,04	3,04	[m/disp]	
N° Tiros Frente			42	42	42	[#]	
Tiempo Marcar Frente	[seg]	60	Marcar Frente	0,7	0,7	0,7	[hrs]
Tiempo Traslado por frente	[hr/disp]	0,50	Traslado Jumbo a la Frente	0,5	0,5	0,5	[hrs]
Diámetro Perforación			51	Perforación de Desarrollo	159,6	159,6	[mb]
Velocidad Perforación	[min/min]	1,00	Tiempo de Perforación	1,3	1,3	1,3	[hrs]
Cambio Postura	[min/tiro]	0,33	Pérdida Operacional Perforación	0,2	0,2	0,2	[hrs]
Total Horómetro Perforación			1,6	1,6	1,6	[hrs]	
Consumo Agua	[m <sup>3</sup> /mb]	0,0630	Agua Industrial Desarrollos	10,1	10,1	10,1	[m <sup>3</sup> ]
Pérdidas	Pérdida	23%	Pérdida Agua Industrial Desarrollos	2,3	2,3	2,3	[m <sup>3</sup> ]
Recuperación	[%]	77%	Agua Industrial Recuperable	9,5	9,5	9,5	[m <sup>3</sup> ]
Rendimiento Bomba	[m <sup>3</sup> /hr]	36,0	Utilización de Bomba Drenaje	0,3	0,3	0,3	[hrs]
Tiempo Traslado por disparo	[hr/disp]	0,77	Traslado Explosivos a la Frente	0,8	0,8	0,8	[hrs]
Pérdida posicionamiento	[min/disp]	12	Posicionamiento Equipo	0,2	0,2	0,2	[hrs]
Tiempo Cargado de tiros	[seg]	50	Cargado de Tiros	0,6	0,6	0,6	[hrs]

Tabla 28: Estimación Ciclo Desarrollo Calles (1/2)

Evacuación y Tronadura	[min/disparo]	30	Evacuación y Tronadura	0,5	0,5	0,5	[hrs]
Ventilación	[min/disparo]	45	Ventilación	0,8	0,8	0,8	[hrs]
Tiempo Revisión Frente	[min/disparo]	30,0	Revisión Frente	0,5	0,5	0,5	[hrs]
Tiempo de Acuñar x Frente	[min/m <sup>2</sup> ]	1,0	Pre-Acuñadura	0,9	1,1	1,1	[hrs]
Tiempo de Riego Frente	[min/disparo]	30,0	Riego de Marinas	0,5	0,5	0,5	[hrs]
Rendimiento LHD Desarrollos	[tph]	100,0	Carguío de Marinas	1,7	1,8	1,8	[hrs]
Tiempo de Acuñar x Frente	[min/m <sup>2</sup> ]	0,6	Acuñadura	0,9	1,1	1,1	[hrs]
<b>Perforación de Apenado</b>				<b>103,6</b>	<b>120,4</b>	<b>193,2</b>	<b>mb</b>
Longitud efectiva de pernos	[m/perno]	2,8	Pernos de 2,8 metros + 10 cm	37	43	69	[un]
2,8	0,0		Planchuelas	37	43	69	[un]
			Tuercas	37	43	69	[un]
Pérdidas posicionamiento	[min/disparo]	12,00	Posicionamiento Equipo	0,2	0,2	0,2	[hrs]
Velocidad Perforación	[mb/min]	1,00	Tiempo de Perforación	1,7	2,0	3,2	[hrs]
Cambio Postura	[min/tiro]	1,00	Pérdida Operacional Perforación	0,6	0,7	1,2	[hrs]
<b>Total Horómetro Perforación</b>				<b>2,3</b>	<b>2,7</b>	<b>4,4</b>	<b>[hrs]</b>
Consumo Agua	[m <sup>3</sup> /mb]	0,0630	Agua Industrial Apenado	6,5	7,6	12,2	[m <sup>3</sup> ]
Pérdidas	Pérdida	23%	Pérdida Agua Industrial Apenado	1,5	1,7	2,8	[m <sup>3</sup> ]
Recuperación	[%]	77%	Agua Industrial Recuperable	6,2	7,2	11,5	[m <sup>3</sup> ]
Rendimiento Bomba	[m <sup>3</sup> /hr]	36,0	Utilización de Bomba Drenaje	0,2	0,2	0,3	[hrs]
Instalación de pernos	[min/m-perno]	1,25	Tiempo de Instalación Perno Lechado	2,16	2,51	4,03	[hrs]
<b>Uso de Ventilador Apenado</b>				<b>4,9</b>	<b>5,6</b>	<b>8,9</b>	<b>[hrs]</b>
Ancho de Rollo Malla	[m/postura]	2,00	Perimetro a Cubrir con Malla	11,74	13,50	14,09	[m]
Traslape por paño de Malla	[m/postura]	0,30	Área Malla	41,0	47,2	49,3	[m <sup>2</sup> ]
Postura de Malla	[m <sup>2</sup> /hr]	35,0	Uso de Ventilador Enmallado	1,2	1,3	1,4	[hrs]
Perimetro a Cubrir con Shotcrete				11,74	13,50	14,09	[m]
Rechazo	[%]	15%	Volumen Shotcrete	3,1	4,7	14,8	[m <sup>3</sup> ]
Cemento	[tm <sup>3</sup> Sht]	0,42	Cemento Shotcrete	1,3	2,0	6,2	[t]
Arena	[tm <sup>3</sup> Sht]	1,64	Aridos Shotcrete	5,0	7,7	24,2	[t]
Acelerante	[tm <sup>3</sup> Sht]	0,03	Acelerante Shotcrete	0,1	0,1	0,4	[t]
Plasticante	[tm <sup>3</sup> Sht]	0,00	Plasticante Shotcrete	0,0	0,0	0,0	[t]
Micro Silice	[tm <sup>3</sup> Sht]	0,03	Micro Silice Shotcrete	0,1	0,2	0,5	[t]
Rendimiento Shotcretera	[m <sup>3</sup> /hra]	2,00	Tiempo Shotcreteado	1,5	2,4	7,4	[hrs]

Tabla 29: Estimación del ciclo para desarrollo de calles (2/2)

Sección 4,8 x 4,5 m	Actividades	1/2 Horas		
Marcar Frente	MF	2	2	2
Traslado Jumbo	TJ	1	1	1
Perforación	TP	4	4	4
Drenaje	DR	1	1	1
Traslado Explosivos	TE	2	2	2
Posicionamiento Equipo	PE	1	1	1
Carguío de Tiros	CT	2	2	2
Tronadura	T	1	1	1
Ventilación	VT	2	2	2
Revisión Frente	RF	1	1	1
Pre-Acuñadura	PA	2	3	3
Riego de Marinas	RM	1	1	1
Marinas	CM	4	4	4
Acuñadura	AC	2	3	3
Apenado	AP	10	12	18
Enmallado	EM	3	3	3
Shotcreteado	TS	4	5	15
	ROCA	TIPO A	TIPO B	TIPO C
	días	1,25	1,50	2,00
	disp.	1	1	1
	m/disp.	3,04	3,04	3,04
	m	3,04	3,04	3,04
	m/día	2,43	2,03	1,52
	m/mes	73	61	46

Tabla 30: Base para estimación de rendimiento para desarrollo de calles

ROCA		TIPO A TIPO B TIPO C			ROCA		TIPO A TIPO B TIPO C			ROCA		TIPO A TIPO B TIPO C			ROCA		TIPO A TIPO B TIPO C			
TURNO A	0,0	0,5	ENTRADA DE TURNO			12,0	12,5	ENTRADA DE TURNO			24,0	24,5	ENTRADA DE TURNO			36,0	36,5	ENTRADA DE TURNO		
	0,5	1,0				12,5	13,0				24,5	25,0				36,5	37,0			
	1,0	1,5				13,0	13,5	RF	RF	RF	25,0	25,5	AP	AP	AP	37,0	37,5			TS
	1,5	2,0				13,5	14,0	PA	PA	PA	25,5	26,0	AP	AP	AP	37,5	38,0			TS
	2,0	2,5				14,0	14,5	PA	PA	PA	26,0	26,5	EM	AP	AP	38,0	38,5			TS
	2,5	3,0				14,5	15,0	RM	PA	PA	26,5	27,0	EM	AP	AP	38,5	39,0			TS
	3,0	3,5	MF	MF	MF	15,0	15,5	CM	RM	RM	27,0	27,5	EM	AP	AP	39,0	39,5			TS
	3,5	4,0	MF	MF	MF	15,5	16,0	CM	CM	CM	27,5	28,0	TS	AP	AP	39,5	40,0			TS
	4,0	4,5	TJ	TJ	TJ	16,0	16,5	CM	CM	CM	28,0	28,5	TS	EM	AP	40,0	40,5			TS
	4,5	5,0	TP	TP	TP	16,5	17,0	CM	CM	CM	28,5	29,0	TS	EM	AP	40,5	41,0			TS
	5,0	5,5	TP	TP	TP	17,0	17,5	AC	CM	CM	29,0	29,5	TS	EM	AP	41,0	41,5			TS
	5,5	6,0	COLACIÓN			17,5	18,0	COLACIÓN			29,5	30,0	COLACIÓN			41,5	42,0	COLACIÓN		
	6,0	6,5				18,0	18,5				30,0	30,5				42,0	42,5			
	6,5	7,0	TP	TP	TP	18,5	19,0	AC	AC	AC	30,5	31,0		TS	AP	42,5	43,0			TS
	7,0	7,5	TP	TP	TP	19,0	19,5	AP	AC	AC	31,0	31,5		TS	AP	43,0	43,5			TS
	7,5	8,0	DR	DR	DR	19,5	20,0	AP	AC	AC	31,5	32,0		TS	AP	43,5	44,0			TS
	8,0	8,5	TE	TE	TE	20,0	20,5	AP	AP	AP	32,0	32,5		TS	EM	44,0	44,5			
	8,5	9,0	TE	TE	TE	20,5	21,0	AP	AP	AP	32,5	33,0		TS	EM	44,5	45,0			
9,0	9,5	PE	PE	PE	21,0	21,5	AP	AP	AP	33,0	33,5				45,0	45,5				
9,5	10,0	CT	CT	CT	21,5	22,0	AP	AP	AP	33,5	34,0			TS	45,5	46,0				
10,0	10,5	CT	CT	CT	22,0	22,5	AP	AP	AP	34,0	34,5			TS	46,0	46,5				
10,5	11,0	1	1	1	22,5	23,0	AP	AP	AP	34,5	35,0			TS	46,5	47,0				
11,0	11,5	VT	VT	VT	23,0	23,5				35,0	35,5				47,0	47,5				
11,5	12,0	VT	VT	VT	23,5	24,0	SALIDA DE TURNO			35,5	36,0	SALIDA DE TURNO			47,5	48,0	SALIDA DE TURNO			

Tabla 31: Estimación del rendimiento en desarrollo de calles

## Anexo A-2: Desarrollos Horizontales Zanjas

Considera la excavación y fortificación con Perno-Malla, de las galerías de zanja con sección de 4,4 x 4,3 [m<sup>2</sup>], cuyo rendimiento estimado es de 61 [m/mes] a partir del promedio de 36 [m/mes] como frente única (Le-Feaux 2019-2020) y de la estimación de avances para distintos tipos de roca (Le-Feaux 2012A, 2012B, 2012C), obtenido a partir de los siguientes datos:

		Sección 4,4 x 4,3 m			Unidad
		Ancho [m]	Alto [m]	Dens. [t/m <sup>3</sup> ]	
Desarrollo según tipo de Roca		TIPO A	TIPO B	TIPO C	
Sección Teórica a Excavar		16,84	16,84	16,84	[m <sup>2</sup> ]
Sobre-Excavación		10%	15%	20%	[%]
Longitud Excavada real		3,04	3,04	3,04	[m]
Número de Brazos Jumbo de Avance		2	2	2	[#]
Tiros Huecos Rainura		1	1	1	[#]
Rainura		12	12	12	[Tiros]
Auxiliares		9	9	9	[Tiros]
Zapateras		6	6	6	[Tiros]
Cajas		6	6	6	[Tiros]
Coronas		8	8	8	[Tiros]
Detonadores Inicidores		2	2	2	[un/disp]
Apernado Espaciamiento		1,0	1,0	0,8	[m <sup>3</sup> ]
Apernado Paradas cada		1,0	1,0	0,8	[m <sup>3</sup> ]
Perímetro de sección a Apernar		11	13	13	[m]
Número de Brazos Jumbo Apernador		1	1	1	[#]
Matrías		147,5	154,2	161,0	[t]
Factor de Avance		80%	80%	80%	[%]
Perforación por Tiro		3,80	3,80	3,80	[mb/tiro]
Avance Esperado		3,04	3,04	3,04	[m/disp]
N° Tiros Frenes		42	42	42	[#]
Tiempo Marcar Frente	[seg]	60	0,7	0,7	[hrs]
Tiempo Trasladado por frente	[hr/disp]	0,50	0,5	0,5	[hrs]
Díametro Perforación	[mm]	51	159,6	159,6	[mb]
Velocidad Perforación	[min/min]	1,00	1,3	1,3	[hrs]
Cambio Postura	[min/tiro]	0,33	0,2	0,2	[hrs]
Total Horómetro Perforación		1,6	1,6	1,6	[hrs]
Consumo Agua	[m <sup>3</sup> /mb]	0,0630	10,1	10,1	[m <sup>3</sup> ]
Pérdidas	Pérdida	23%	2,3	2,3	[m <sup>3</sup> ]
Recuperación	[%]	77%	9,5	9,5	[m <sup>3</sup> ]
Rendimiento Bomba	[m <sup>3</sup> /hr]	36,0	0,3	0,3	[hrs]
Tiempo Trasladado por disparo	[hr/disp]	0,77	0,8	0,8	[hrs]
Pérdidas posicionamiento	[min/disp]	12	0,2	0,2	[hrs]
Tiempo Carguío de tiros	[seg]	50	0,6	0,6	[hrs]

Tabla 32: Estimación del ciclo para desarrollo de zanjas (1/2)

Evacuación y Tronadura	[min/dispazo]	30	Evacuación y Tronadura	0,5	0,5	0,5	[hrs]
Ventilación	[min/dispazo]	45	Ventilación	0,8	0,8	0,8	[hrs]
Tiempo Revisión Frente	[min/dispazo]	30,0	Revisión Frente	0,5	0,5	0,5	[hrs]
Tiempo de Acuar x Frente	[min/m2]	1,0	Pre-Acuñadura	0,9	1,0	1,0	[hrs]
Tiempo de Riego Frente	[min/dispazo]	30,0	Riego de Marinas	0,5	0,5	0,5	[hrs]
Rendimiento LHD Desarrollos	[tph]	100,0	Carguo de Marinas	1,5	1,5	1,6	[hrs]
Tiempo de Acuar x Frente	[min/m2]	0,6	Acuñadura	0,9	1,0	1,0	[hrs]
Perforación de Apernado				103,6	112,0	182,0	[mb]
Longitud efectiva de pernos	[m/perno]	2,8	Pernos de 2,8 metros + 10 cm	37	40	65	[un]
2,7	-0,1		Planchuelas	37	40	65	[un]
			Tuercas	37	40	65	[un]
Pérdidas posicionamiento	[min/dispazo]	12,00	Posicionamiento Equipo	0,2	0,2	0,2	[hrs]
Velocidad Perforación	[mb/min]	1,00	Tiempo de Perforación	1,7	1,9	3,0	[hrs]
Cambio Postura	[min/tiro]	1,00	Pérdida Operacional Perforación	0,6	0,7	1,1	[hrs]
Total Horómetro Perforación				2,3	2,5	4,1	[hrs]
Uso de Ventilador Apernado				4,9	5,3	8,4	[hrs]
Ancho de Rollo Malla	[m/postura]	2,00	Perimetro a Cubrir con Malla	11,11	12,78	13,33	[m]
Traslape por paño de Malla	[m/postura]	0,30	Área Malla	38,8	44,7	46,6	[m2]
Postura de Malla	[m2/hr]	35,0	Uso de Ventilador Enmallado	1,1	1,3	1,3	[hrs]
Perimetro a Cubrir con Shotcrete				11,11	12,78	13,33	[m]
Rechazo	[%]	15%	Volumen Shotcrete	0,0	0,0	0,0	[m3]
Cemento	[Um3 Sht]	0,42	Cemento Shotcrete	0,0	0,0	0,0	[t]
Arena	[Um3 Sht]	1,64	Áridos Shotcrete	0,0	0,0	0,0	[t]
Acelerante	[Um3 Sht]	0,03	Acelerante Shotcrete	0,0	0,0	0,0	[t]
Plastificante	[Um3 Sht]	0,00	Plastificante Shotcrete	0,0	0,0	0,0	[t]
Micro Silice	[Um3 Sht]	0,03	Micro Silice Shotcrete	0,0	0,0	0,0	[t]
Rendimiento Shotcretera	[m3/hra]	2,00	Tiempo Shotcreteado	0,0	0,0	0,0	[hrs]

Tabla 33: Estimación del ciclo para desarrollo de zanjas (2/2)

Sección 4,4 x 4,3 m	Actividades	1/2 Horas		
Marcar Frente	MF	2	2	2
Traslado Jumbo	TJ	1	1	1
Perforación	TP	4	4	4
Drenaje	DR	1	1	1
Traslado Explosivos	TE	2	2	2
Posicionamiento Equipo	PE	1	1	1
Carguo de Tiros	CT	2	2	2
Tronadura	T	1	1	1
Ventilación	VT	2	2	2
Revisión Frente	RF	1	1	1
Pre-Acuñadura	PA	2	2	3
Riego de Marinas	RM	1	1	1
Marinas	CM	3	4	4
Acuñadura	AC	2	2	3
Apernado	AP	10	11	17
Enmallado	EM	3	3	3
Shotcreteado	TS	0	0	0
	ROCA	TIPO A	TIPO B	TIPO C
	días	1,25	1,25	1,50
	disp.	1	1	1
	m/disp.	3,04	3,04	3,04
	m	3,04	3,04	3,04
	m/día	2,43	2,43	2,03
	m/mes	73	73	61

Tabla 34: Base para estimación de rendimiento para desarrollo de zanjas

ROCA		TIPO A TIPO B TIPO C			ROCA		TIPO A TIPO B TIPO C			ROCA		TIPO A TIPO B TIPO C			ROCA		TIPO A TIPO B TIPO C			
TURNO A	0,0	0,5	ENTRADA DE TURNO			12,0	12,5	ENTRADA DE TURNO			24,0	24,5	ENTRADA DE TURNO			36,0	36,5	ENTRADA DE TURNO		
	0,5	1,0				12,5	13,0				24,5	25,0				36,5	37,0			
	1,0	1,5				13,0	13,5	RF	RF	RF	25,0	25,5	AP	AP	AP	37,0	37,5			
	1,5	2,0				13,5	14,0	PA	PA	PA	25,5	26,0	EM	AP	AP	37,5	38,0			
	2,0	2,5				14,0	14,5	PA	PA	PA	26,0	26,5	EM	AP	AP	38,0	38,5			
	2,5	3,0				14,5	15,0	RM	RM	PA	26,5	27,0	EM	EM	AP	38,5	39,0			
	3,0	3,5	MF	MF	MF	15,0	15,5	CM	CM	RM	27,0	27,5		EM	AP	39,0	39,5			
	3,5	4,0	MF	MF	MF	15,5	16,0	CM	CM	CM	27,5	28,0		EM	AP	39,5	40,0			
	4,0	4,5	TJ	TJ	TJ	16,0	16,5	CM	CM	CM	28,0	28,5			AP	40,0	40,5			
	4,5	5,0	TP	TP	TP	16,5	17,0	AC	CM	CM	28,5	29,0			AP	40,5	41,0			
	5,0	5,5	TP	TP	TP	17,0	17,5	AC	AC	CM	29,0	29,5			AP	41,0	41,5			
	5,5	6,0	COLACIÓN			17,5	18,0	COLACIÓN			29,5	30,0	COLACIÓN			41,5	42,0	COLACIÓN		
	6,0	6,5				18,0	18,5				30,0	30,5				42,0	42,5			
	6,5	7,0	TP	TP	TP	18,5	19,0	AP	AC	AC	30,5	31,0			AP	42,5	43,0			
	7,0	7,5	TP	TP	TP	19,0	19,5	AP	AP	AC	31,0	31,5			AP	43,0	43,5			
	7,5	8,0	DR	DR	DR	19,5	20,0	AP	AP	AC	31,5	32,0			EM	43,5	44,0			
	8,0	8,5	TE	TE	TE	20,0	20,5	AP	AP	AP	32,0	32,5			EM	44,0	44,5			
	8,5	9,0	TE	TE	TE	20,5	21,0	AP	AP	AP	32,5	33,0			EM	44,5	45,0			
	9,0	9,5	PE	PE	PE	21,0	21,5	AP	AP	AP	33,0	33,5				45,0	45,5			
	9,5	10,0	CT	CT	CT	21,5	22,0	AP	AP	AP	33,5	34,0				45,5	46,0			
	10,0	10,5	CT	CT	CT	22,0	22,5	AP	AP	AP	34,0	34,5				46,0	46,5			
	10,5	11,0	1	1	1	22,5	23,0	AP	AP	AP	34,5	35,0				46,5	47,0			
	11,0	11,5	VT	VT	VT	23,0	23,5	SALIDA DE TURNO			35,0	35,5	SALIDA DE TURNO			47,0	47,5	SALIDA DE TURNO		
11,5	12,0	VT	VT	VT	23,5	24,0				35,5	36,0				47,5	48,0				

Tabla 35: Estimación del rendimiento en desarrollo de zanjas

### Anexo A-3: Desquinches

Considera la excavación y fortificación con Perno-Malla-Shotcrete de los desquinches realizados en las esquinas de los pilares, cuyo rendimiento estimado es de 704,0 [m<sup>3</sup>/mes] a partir de la estimación para distintos tipos de roca (Le-Feaux 2012C), obtenido a partir de los siguientes datos:

Desquinche Sección 4,8 x 4,5 m				Ancho [m]	Alto [m]	Dens. [tm3]	
Desarrollo según tipo de Roca				TIPO A	TIPO B	TIPO C	Unidad
Sección Teórica a Excavar				9,57	9,57	9,57	[m2]
Sobre-Excavación				10%	15%	20%	[%]
Longitud Excavada real				1,60	1,60	1,60	[m]
Número de Brazos Jumbo de Avance				2	2	2	[#]
Auxiliares				6	6	6	[Tiros]
Zapateras				3	3	3	[Tiros]
Cajas				3	3	3	[Tiros]
Coronas				4	4	4	[Tiros]
Detonadores Inicidores				2	2	2	[un/disp]
Apernado Espaciamiento				1,0	1,0	0,8	[m3]
Apernado Paradas cada				1,0	1,0	0,8	[m3]
Perímetro de sección a Apernar				6	7	7	[m]
Número de Brazos Jumbo Apernador				1	1	1	[#]
Espesor Shotcrete				0,08	0,10	0,30	[m]
Marines				22,1	23,1	24,1	[t]
Factor de Avance				100%	100%	100%	[%]
Perforación por Tiro				1,90	1,90	1,90	[mb/tiro]
Avance Esperado				1,90	1,90	1,90	[m/disp]
N° Tiros Frente				16	16	16	[#]
Tiros Normales				16	16	16	[#]
Disparos				1	1	1	[un]
Tempo Marcar Frente	[seg]	60	Marcar Frente	0,3	0,3	0,3	[hrs]
Tempo Traslado por frente	[hr/disp]	0,50	Traslado Jumbo a la Frente	0,5	0,5	0,5	[hrs]
Díámetro Perforación	[mm]	51	Perforación de Desarrollo	30,4	30,4	30,4	[mb]
Velocidad Perforación	[min/min]	1,00	Tempo de Perforación	0,3	0,3	0,3	[hrs]
Cambio Postura	[min/tiro]	0,33	Pérdida Operacional Perforación	0,1	0,1	0,1	[hrs]
Total Horómetro Perforación				0,3	0,3	0,3	[hrs]
Rendimiento Bomba	[m3/hr]	36,0	Utilización de Bomba Drenaje	0,1	0,1	0,1	[hrs]
Tempo Traslado por disparo	[hr/disp]	0,77	Traslado Explosivos a la Frente	0,8	0,8	0,8	[hrs]
Pérdidas posicionamiento	[min/disp]	12	Posicionamiento Equipo	0,2	0,2	0,2	[hrs]
Tempo Carguio de tiros	[seg]	50	Carguio de Tiros	0,2	0,2	0,2	[hrs]
Evacuación y Tronadura	[min/disp]	30	Evacuación y Tronadura	0,5	0,5	0,5	[hrs]
Ventilación	[min/disp]	45	Ventilación	0,8	0,8	0,8	[hrs]

Tabla 36: Estimación del ciclo para desquinches (1/2)

Tiempo Revisión Frente	[min/disparo]	30,0	Revisión Frente	0,5	0,5	0,5	[hrs]
Tiempo de Acuñal x Frente	[min/m2]	1,0	Pre-Acuñadura	0,4	0,4	0,4	[hrs]
Tiempo de Riego Frente	[min/disparo]	30,0	Riego de Marinas	0,5	0,5	0,5	[hrs]
Rendimiento LHD Desarrollos	[tph]	100,0	Carguío de Marinas	0,2	0,2	0,2	[hrs]
Tiempo de Acuñal x Frente	[min/m2]	0,6	Acuñadura	0,4	0,4	0,4	[hrs]
Perforación de Apornado				28,0	33,6	50,4	mb
Longitud efectiva de pernos	[m/perno]	2,8	Pernos de 2,8 metros + 10 cm	10	12	18	[un]
2,8	0,0		Planchuelas	10	12	18	[un]
			Tuercas	10	12	18	[un]
Pérdidas posicionamiento	[min/disparo]	12,00	Posicionamiento Equipo	0,2	0,2	0,2	[hrs]
Velocidad Perforación	[mb/min]	1,00	Tiempo de Perforación	0,5	0,6	0,8	[hrs]
Cambio Postura	[min/tiro]	1,00	Pérdida Operacional Perforación	0,2	0,2	0,3	[hrs]
Total Horómetro Perforación				0,6	0,8	1,1	[hrs]
Uso de Ventilador Apornado				1,5	1,7	2,5	[hrs]
Ancho de Rollo Malla	[m/postura]	2,00	Perímetro a Cubrir con Malla	5,87	6,75	7,04	[m]
Traslado por paño de Malla	[m/postura]	0,30	Área Malla	10,8	12,4	13,0	[m2]
Postura de Malla	[m2/hr]	35,0	Uso de Ventilador Enmallado	0,3	0,4	0,4	[hrs]
Perímetro a Cubrir con Shotcrete				5,87	6,75	7,04	[m]
Rendimiento Shotcretera	[m3/hra]	2,00	Tiempo Shotcreteado	0,4	0,6	1,9	[hrs]

Tabla 37: Estimación del ciclo para desquiches (2/2)

Desquiche Sección 4,8 x 4,5 m	Actividades	1/2 Horas			Unidad	ROCA			TIPO A TIPO B TIPO C			ROCA			TIPO A TIPO B TIPO C		
		ROCA	TIPO A	TIPO B		TIPO C	ROCA	TIPO A	TIPO B	TIPO C	ROCA	TIPO A	TIPO B	TIPO C			
Marcar Frente	MF	1	1	1	[1/2 hrs]	0,0	0,5					12,0	12,5				
Traslado Jumbo	TJ	1	1	1	[1/2 hrs]	0,5	1,0					12,5	13,0				
Perforación	TP	1	1	1	[1/2 hrs]	1,0	1,5					13,0	13,5	RF	RF	RF	
Drenaje	DR	1	1	1	[1/2 hrs]	1,5	2,0					13,5	14,0	PA	PA	PA	
Traslado Explosivos	TE	2	2	2	[1/2 hrs]	2,0	2,5					14,0	14,5	RM	RM	RM	
Posicionamiento Equipo	PE	1	1	1	[1/2 hrs]	2,5	3,0					14,5	15,0	CM	CM	CM	
Carguío de Tiros	CT	1	1	1	[1/2 hrs]	3,0	3,5					15,0	15,5	AC	AC	AC	
Tronadura	T	1	1	1	[1/2 hrs]	3,5	4,0					15,5	16,0	AP	AP	AP	
Ventilación	VT	2	2	2	[1/2 hrs]	4,0	4,5					16,0	16,5	AP	AP	AP	
Revisión Frente	RF	1	1	1	[1/2 hrs]	4,5	5,0					16,5	17,0	AP	AP	AP	
Pre-Acuñadura	PA	1	1	1	[1/2 hrs]	5,0	5,5					17,0	17,5	EM	AP	AP	
Riego de Marinas	RM	1	1	1	[1/2 hrs]	5,5	6,0					17,5	18,0				
Marinas	CM	1	1	1	[1/2 hrs]	6,0	6,5					18,0	18,5				
Acuñadura	AC	1	1	1	[1/2 hrs]	6,5	7,0	MF	MF	MF		18,5	19,0	TS	EM	AP	
Apornado	AP	3	4	5	[1/2 hrs]	7,0	7,5	TJ	TJ	TJ		19,0	19,5		TS	EM	
Enmallado	EM	1	1	1	[1/2 hrs]	7,5	8,0	TP	TP	TP		19,5	20,0		TS	TS	
Shotcreteado	TS	1	2	4	[1/2 hrs]	8,0	8,5	DR	DR	DR		20,0	20,5			TS	
Total Ciclo	[1/2 hrs]	19	21	24	[1/2 hrs]	8,5	9,0	TE	TE	TE		20,5	21,0			TS	
		ROCA	TIPO A	TIPO B	TIPO C	9,0	9,5	TE	TE	TE		21,0	21,5			TS	
		días	0,38	0,38	0,38	9,5	10,0	PE	PE	PE		21,5	22,0				
		disp.	1	1	1	10,0	10,5	CT	CT	CT		22,0	22,5				
		m3/disp.	8,42	8,80	9,18	10,5	11,0	1	1	1		22,5	23,0				
		m3/día	22,45	23,47	24,49	11,0	11,5					23,0	23,5				
		m3/mes	673,4	704,0	734,6	11,5	12,0					23,5	24,0				

Tabla 38: Estimación de rendimiento para desquiches

## Anexo A-4: Equivalente en Excavaciones

Tanto el desarrollo de galerías (horizontales) como los desquiches, se realizarán con los mismos recursos, por lo cual, para la programación de obras combinadas, debemos establecer una equivalencia entre las obras de este tipo, de modo que se disponga de un límite mensual (en este caso), que nos permita programar las obras en base a las limitantes que imponen los recursos.

Para cada tipo de excavación, tenemos un límite de capacidad con los recursos involucrados, por lo cual se establecerá una relación entre los tipos de excavaciones presentes en los diseños estudiados, que permitirá definir el porcentaje de participación de cada una de ellas en el total de obras.

A partir de los rendimientos máximos establecidos por las estimaciones en los desarrollos horizontales y desquiches, se establecerá un equivalente en metros cúbicos de excavación máxima que pudiera realizarse mensualmente, lo cual se ponderará por la participación de cada obra dentro del total de obras de cada diseño, quedando un valor referencial de capacidad de excavación para poder programar las obras.

CUBICACIONES				
Obra	Detalle	[un]	Malla de Extracción	
			Teniente	Mixta Operativizada
Galería Sección: Excavada 4,8 x 4,5 [mxm]	Calle de Producción	[m]	200	200
	Excavación	[m <sup>3</sup> ]	3.825,6	3.825,6
	Acceso Punto de Extracción	[m]	180,6	113,4
	Excavación	[m <sup>3</sup> ]	3.454,0	2.169,1
Galería Sección: Excavada 4,4 x 4,3 [mxm]	Galería de Zanja	[m]	156,6	178,6
	Excavación	[m <sup>3</sup> ]	2.637,5	3.008,1
Desquinches Esquinas Excavada 4,8 x 4,5 [mxm]	Excavación	[m <sup>3</sup> ]	788,9	1.435,9
Obra	Detalle	[un]	Malla de Extracción	
Galería Sección: Excavada 4,8 x 4,5 [mxm]	Calle de Producción	[m]	381	313
	Excavación	[m <sup>3</sup> ]	7.280	5.995
Galería Sección: Excavada 4,4 x 4,3 [mxm]	Galería de Zanja	[m]	157	179
	Excavación	[m <sup>3</sup> ]	2.638	3.008
Desquinches Esquinas Excavada 4,8 x 4,5 [mxm]	Excavación	[m <sup>3</sup> ]	788,9	1.435,9
Total	Excavación	[m <sup>3</sup> ]	10.706,0	10.438,6
DISTRIBUCIÓN DE OBRAS POR TIPO DE MALLA DE EXTRACCIÓN				
Obra	Detalle	[un]	Malla de Extracción	
Galería	Sección 4,8 x 4,5 [mxm]	[m <sup>3</sup> ]	Teniente	68%
			Mixta Operativizada	57%
Galería	Sección 4,4 x 4,3 [mxm]	[m <sup>3</sup> ]	25%	29%
Desquinches Esquinas	Sección 4,8 x 4,5 [mxm]	[m <sup>3</sup> ]	7%	14%
Total	Excavación	[m <sup>3</sup> ]	100%	100%

Tabla 39: Estimación de la cantidad de excavaciones dentro del diseño

CUBICACIÓN POR METRO DE AVANCE GALERÍAS				
Obra	Detalle	[un]	Malla de Extracción	
			Teniente	Mixta Operativizada
Galería	Sección 4,8 x 4,5 [mxm]	[m <sup>3</sup> /mt]	19,13	19,13
Galería	Sección 4,4 x 4,3 [mxm]	[m <sup>3</sup> /mt]	16,84	16,84
RENDIMIENTOS POR OBRA				
Obra	Detalle	[un]	Malla de Extracción	
Galerías	Sección 4,8 x 4,5 [mxm]	[m/mes]	53,8	53,8
		[m <sup>3</sup> /mes]	1.029,1	1.029,1
	Sección 4,4 x 4,3 [mxm]	[m/mes]	61,0	61,0
		[m <sup>3</sup> /mes]	1.027,4	1.027,4
Desquinches Esquinas	Sección 4,8 x 4,5 [mxm]	[m <sup>3</sup> /mes]	704,0	704,0
Rendimiento Equivalente	Excavación	[m <sup>3</sup> /mes]	1.004,7	983,9

Tabla 40: Estimación del rendimiento para excavaciones

Finalmente, la excavación y fortificación de las obras alcanzaría un rendimiento equivalente estimado de 1.004,7 [m<sup>3</sup>/mes], para MEx tipo Teniente y de 983,9 [m<sup>3</sup>/mes], para MEx Mixta Operativizada.

## Anexo A-5: Fortificación con Cables

Realizadas las actividades de excavación y fortificación básica en las intersecciones de galerías (Calle-Zanja), se procede a la fortificación con cables de dichas intersecciones, a un ritmo de 0,57 [un/mes] para MEx Tipo Teniente y de 0,50 [un/mes] para MEx Mixta Operativizada, según las estimaciones realizadas con la metodología indicada en documento de referencia (Le-Feaux 2012C) y datos de proyectos (Le-Feaux 2012A, 2012B), obtenido a partir de los siguientes datos:

			Total Obras Bateas	CRUCETA	CRUCETA	Unidad
			Unidades a fortificar	1	1	[#]
			N° Perforaciones	16	18	[#]
			Longitud de Tiros	9,0	9,0	[mb]
Tiempo Marcar Frente	[min/tiro]	1,5	Marcar Postura	0,4	0,5	[hrs]
Tiempo Traslado por frente	[hr/tronada]	0,50	Traslado Jumbo a la Frente	0,5	0,5	[hrs]
			Perforación Fortificación	144,0	162,0	[mb]
Diámetro Perforación	[mm]	38,0	Número de Brazos	1	1	[#]
Velocidad Perforación	[m/min]	0,50	Tiempo de Perforación	4,8	5,4	[hrs]
Cambio Postura	[min/tiro]	2,00	Pérdida Operacional Perforación	0,5	0,6	[hrs]
			Total Horómetro Perforación	5,3	6,0	[hrs]
Tiempo Medir Tiros	[min/tiro]	5,0	Medición de Tiros	1,3	1,5	[hrs]
Reperforación asociada al total	[%]	10%	Reperforación de Tiros	0,5	0,6	[hrs]
Tiempo Revisión	[hr/unidad]	1,0	Revisión Frente	1,0	1,0	[hrs]
Tiempo de Acuar	[hr/unidad]	0,2	Acuñadura	0,2	0,2	[hrs]
Tiempo Traslado por disparo	[hr/unidad]	0,75	Traslado Materiales	0,8	0,8	[hrs]
Tiempo Postura Cables	[hr/m]	0,05	Postura Cables	7,2	8,1	[hrs]
Tiempo Fraguado	[hr/unidad]	3	Fraguado	3,0	3,0	[hrs]
Tensado	[hr/tiro]	0,50	Tensado de Cables	8,0	9,0	[hrs]

Tabla 41: Estimación del ciclo para cableado

Actividad	ID	Tte.	Mixta Oper.	Unidad
Marcar Postura	MF	1	1	[1/2 hrs]
Traslado Jumbo a la Frente	TJ	1	1	[1/2 hrs]
Total Horómetro Perforación	TP	11	12	[1/2 hrs]
Medición de Tiros	MT	3	3	[1/2 hrs]
Reperforación de Tiros	RP	2	2	[1/2 hrs]
Revisión Frente	RF	2	2	[1/2 hrs]
Acuñadura	AC	1	1	[1/2 hrs]
Traslado Materiales	TM	2	2	[1/2 hrs]
Postura Cables	CB	15	17	[1/2 hrs]
Fraguado	FR	6	6	[1/2 hrs]
Tensado de Cables	TC	16	18	[1/2 hrs]
Total Ciclo		60	65	[1/2 hrs]
Días por Cruceta		1,75	2,00	
[un/día]		0,57	0,50	
[un/mes]		17,1	15,0	

Tabla 42: Base para estimación de rendimiento para cableado

CABLEADO	Tte.	Mixta Oper.	CABLEADO	Tte.	Mixta Oper.	CABLEADO	Tte.	Mixta Oper.	CABLEADO	Tte.	Mixta Oper.
0,0	0,5	ENTRADA DE TURNO	12,0	12,5	ENTRADA DE TURNO	0,0	0,5	ENTRADA DE TURNO	12,0	12,5	ENTRADA DE TURNO
0,5	1,0	MF	12,5	13,0	RF	0,5	1,0	CB	12,5	13,0	TC
1,0	1,5	TJ	13,0	13,5	RF	1,0	1,5	CB	13,0	13,5	TC
1,5	2,0	TJ	13,5	14,0	RF	1,5	2,0	CB	13,5	14,0	TC
2,0	2,5	TP	14,0	14,5	AC	2,0	2,5	FR	14,0	14,5	TC
2,5	3,0	TP	14,5	15,0	TM	2,5	3,0	FR	14,5	15,0	TC
3,0	3,5	TP	15,0	15,5	TM	3,0	3,5	FR	15,0	15,5	TC
3,5	4,0	TP	15,5	16,0	CB	3,5	4,0	FR	15,5	16,0	TC
4,0	4,5	TP	16,0	16,5	CB	4,0	4,5	FR	16,0	16,5	TC
4,5	5,0	TP	16,5	17,0	CB	4,5	5,0	FR	16,5	17,0	TC
5,0	5,5	TP	17,0	17,5	CB	5,0	5,5	TC	17,0	17,5	TC
5,5	6,0	COLACIÓN	17,5	18,0	COLACIÓN	5,5	6,0	COLACIÓN	17,5	18,0	COLACIÓN
6,0	6,5	TP	18,0	18,5	COLACIÓN	6,0	6,5	COLACIÓN	18,0	18,5	COLACIÓN
6,5	7,0	TP	18,5	19,0	CB	6,5	7,0	TC	18,5	19,0	TC
7,0	7,5	TP	19,0	19,5	CB	7,0	7,5	TC	19,0	19,5	TC
7,5	8,0	TP	19,5	20,0	CB	7,5	8,0	TC	19,5	20,0	TC
8,0	8,5	TP	20,0	20,5	CB	8,0	8,5	TC	20,0	20,5	TC
8,5	9,0	MT	20,5	21,0	CB	8,5	9,0	TC	20,5	21,0	TC
9,0	9,5	MT	21,0	21,5	CB	9,0	9,5	TC	21,0	21,5	TC
9,5	10,0	MT	21,5	22,0	CB	9,5	10,0	TC	21,5	22,0	TC
10,0	10,5	RP	22,0	22,5	CB	10,0	10,5	TC	22,0	22,5	TC
10,5	11,0	RP	22,5	23,0	CB	10,5	11,0	TC	22,5	23,0	TC
11,0	11,5	SALIDA DE TURNO	23,0	23,5	SALIDA DE TURNO	11,0	11,5	SALIDA DE TURNO	23,0	23,5	SALIDA DE TURNO
11,5	12,0		23,5	24,0		11,5	12,0		23,5	24,0	

Tabla 43: Estimación del rendimiento en Cableado



## Anexo A-6: Pavimentos

Se considera como la última actividad en la secuencia, y se utilizará un rendimiento lineal promedio de 151 [m/mes], a partir de 120 [m/mes] (Le-Feaux 2012A, 2012B) y de 182 [m/mes] (Le-Feaux 2019-2020).

El rendimiento por volumen de pavimentos resultará de:

- Considerar un espesor de 20 [cm] de la carpeta.
- Considerar en ancho efectivo de:

$$\text{Ancho Efectivo} = \text{Ancho excavado} - 2 \times (\text{Espesor de Shotcrete} + \text{Espesor Muros})$$

$$4,2 [m] = 4,8 [m] - 2 \times (0,1 [m] + 0,2 [m])$$

**Rendimiento mensual resulta en 126,8 [m<sup>3</sup>/mes].**

## Anexo A-7: Chimeneas Piloto Bateas

Considera el escariado de una chimenea de cara libre para la tronadura posterior de la primera fase en la excavación de la batea. Se considera la utilización de un equipo Blind hole, cuyo rendimiento estimado es de 7,3 [m/día] (Rabajille 2017). Para ambos diseños se estima un rendimiento de 0,12 [chimeneas/mes] (Le-Feaux 2012A, 2012B, 2012C), obtenido a partir de los siguientes datos:

Dens. [t/m <sup>3</sup> ]			Total Obras Chimeneas	Piloto	Unidad
2,62			Excavación	1	[un]
			Chimenea Piloto	13,7	[m]
			Diámetro	1,5	[m]
			Sección Excavada	1,77	[m <sup>2</sup> ]
			Marinas	63,4	[t]
			Marcar Frente	0,5	[hrs]
			Rebaje de Piso	27,0	[hrs]
Tiempo Traslado por frente	[hr/chim]	4,50	Traslado Equipo a la Frente	4,5	[hrs]
			Instalación	54,0	[hrs]
Velocidad Excavación	[m/hra]	0,41	Escariado	33,8	[hrs]
			Desinstalación	27,0	[hrs]
Tiempo Revisión	[min/chim]	15,0	Revisión Frente	0,3	[hrs]
Tiempo de Acuñar	[min/chim]	15,0	Pre-Acuñadura	0,3	[hrs]
Tiempo de Riego Frente	[min/chim]	15,0	Riego de Marinas	0,3	[hrs]
Tiempo de Acuñar	[min/chim]	30,0	Acuñadura	0,5	[hrs]
Rendimiento LHD Desarrollos	[tph]	100,0	Carguío de Marinas	0,6	[hrs]

Tabla 44: Estimación del ciclo para chimenea Blind Hole

Actividad	ID	Piloto	Unidad
Marcar Frente	MF	1	[1/2 hrs]
Rebaje de Piso	RP	54	[1/2 hrs]
Traslado Equipo a la Frente	TJ	9	[1/2 hrs]
Instalación	IN	108	[1/2 hrs]
Escariado	ES	68	[1/2 hrs]
Desinstalación	DI	54	[1/2 hrs]
Revisión Frente	RF	1	[1/2 hrs]
Pre-Acuñadura	PA	1	[1/2 hrs]
Riego de Marinas	RM	1	[1/2 hrs]
Acuñadura	AC	1	[1/2 hrs]
Carguío de Marinas	CM	2	[1/2 hrs]
ENTRADA DE TURNO	ET	2	[1/2 hrs]
COLACIÓN	CL	2	[1/2 hrs]
SALIDA DE TURNO	ST	2	[1/2 hrs]
Total Ciclo		300	[1/2 hrs]
Días por Piloto		8,50	
[un/día]		0,12	
[un/mes]		3,53	

Tabla 45: Base para estimación de rendimiento para chimenea Blind Hole

Piloto	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9
0,0	0,5	ET	ET	ET	ET	ET	ET	ET	ET
0,5	1,0								
1,0	1,5	MF	RP	IN	IN	IN	ES	ES	DI
1,5	2,0	RP	RP	IN	IN	IN	ES	ES	DI
2,0	2,5	RP	RP	IN	IN	IN	ES	ES	DI
2,5	3,0	RP	RP	IN	IN	IN	ES	ES	DI
3,0	3,5	RP	RP	IN	IN	IN	ES	ES	DI
3,5	4,0	RP	RP	IN	IN	IN	ES	ES	DI
4,0	4,5	RP	RP	IN	IN	IN	ES	ES	DI
4,5	5,0	RP	RP	IN	IN	IN	ES	ES	DI
5,0	5,5	RP	RP	IN	IN	IN	ES	ES	DI
5,5	6,0								
6,0	6,5	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL
6,5	7,0	RP	RP	IN	IN	IN	ES	ES	DI
7,0	7,5	RP	RP	IN	IN	IN	ES	ES	DI
7,5	8,0	RP	RP	IN	IN	IN	ES	ES	DI
8,0	8,5	RP	RP	IN	IN	IN	ES	ES	DI
8,5	9,0	RP	RP	IN	IN	IN	ES	ES	DI
9,0	9,5	RP	RP	IN	IN	IN	ES	ES	DI
9,5	10,0	RP	RP	IN	IN	IN	ES	ES	DI
10,0	10,5	RP	RP	IN	IN	IN	ES	ES	DI
10,5	11,0	RP	RP	IN	IN	IN	ES	ES	DI
11,0	11,5								
11,5	12,0	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST
12,0	12,5								
12,5	13,0	ET	ET	ET	ET	ET	ET	ET	ET
13,0	13,5	RP	RP	IN	IN	IN	ES	ES	DI
13,5	14,0	RP	TJ	IN	IN	IN	ES	ES	DI
14,0	14,5	RP	TJ	IN	IN	IN	ES	ES	DI
14,5	15,0	RP	TJ	IN	IN	IN	ES	ES	DI
15,0	15,5	RP	TJ	IN	IN	IN	ES	ES	DI
15,5	16,0	RP	TJ	IN	IN	IN	ES	ES	DI
16,0	16,5	RP	TJ	IN	IN	IN	ES	ES	DI
16,5	17,0	RP	TJ	IN	IN	IN	ES	ES	DI
17,0	17,5	RP	TJ	IN	IN	IN	ES	ES	DI
17,5	18,0								
18,0	18,5	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL
18,5	19,0	RP	TJ	IN	IN	IN	ES	ES	DI
19,0	19,5	RP	IN	IN	IN	IN	ES	ES	DI
19,5	20,0	RP	IN	IN	IN	IN	ES	ES	DI
20,0	20,5	RP	IN	IN	IN	IN	ES	ES	DI
20,5	21,0	RP	IN	IN	IN	IN	ES	ES	DI
21,0	21,5	RP	IN	IN	IN	IN	ES	ES	DI
21,5	22,0	RP	IN	IN	IN	IN	ES	ES	DI
22,0	22,5	RP	IN	IN	IN	IN	ES	ES	DI
22,5	23,0	RP	IN	IN	IN	IN	ES	ES	DI
23,0	23,5								
23,5	24,0	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST

Tabla 46: Estimación del rendimiento en chimenea Blind Hole

### Anexo A-8: Perforación y Tronadura de Bateas

Considera la perforación de tiros radiales para posteriormente generar la excavación con explosivos de ella. La excavación se realiza en 2 fases, dado el volumen de ella, generándose un canalón como fase 1, y el resto de la excavación en la fase 2. Si bien lo que marca el ritmo para la ejecución de la obra es la perforación (es el equipo que debe moverse de una batea a la otra), para efectos de cálculo se considerará la obra completa terminada. Para ambos diseños se estima un rendimiento de 0,33 [Bateas/mes] (Le-Feaux 2012A, 2012B, 2012C), obtenido a partir de los siguientes datos:

Dens. [t/m3]			Total Obras Bateas	FASE 1	FASE 1	FASE 2	FASE 2	Unidad
2,62			Malla	Tte.	Mixta Oper.	Tte.	Mixta Oper.	
			<b>Excavación</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	[un]
			Volumen a excavar	661,0	800,0	2.149,0	2.511,0	[m3]
			Marinas	1.731,8	2.096,0	5.630,4	6.578,8	[t]
			Nº Tiros	20	20	38	36	[#/Batea]
			Perforación por Bateas	301,8	310,9	588,2	560,5	[mb]
Tiempo Marcar Frente	[min/ tiro]	1,5	Marcar Frente	0,5	0,5	1,0	0,9	[hrs]
Tiempo Traslado por frente	[hr/tronada]	0,50	Traslado Jumbo a la Frente	0,5	0,5	0,5	0,5	[hrs]
			<b>Perforación de Bateas</b>	<b>301,8</b>	<b>310,9</b>	<b>588,2</b>	<b>560,5</b>	[mb]
Diámetro Perforación	[mm]	76,2	Número de Brazos	1	1	1	1	[#]
Velocidad Perforación	[m/min]	0,55	Tiempo de Perforación	9,1	9,4	17,8	17,0	[hrs]
Cambio de Barra	[min/barra]	1,00	Tiempo de Cambio de Barras	2,8	2,9	5,4	5,2	[hrs]
Cambio Postura	[min/tiro]	1,00	Pérdida Operacional Perforación	0,3	0,3	0,6	0,6	[hrs]
			<b>Total Horómetro Perforación</b>	<b>9,5</b>	<b>9,8</b>	<b>18,5</b>	<b>17,6</b>	[hrs]
Tiempo Medir Tiro	[min/tiro]	1,5	Medición de Tiros	0,5	0,5	1,0	0,9	[hrs]
Reperforación asociada al total	[%]	10%	Reperforación de Tiros	0,9	1,0	1,8	1,8	[hrs]
Tiempo Revisión	[min/tron]	30,0	Revisión Frente	0,5	0,5	0,5	0,5	[hrs]
Tiempo de Acuar	[min/tron]	30,0	Pre-Acuñadura	0,5	0,5	0,5	0,5	[hrs]
Rendimiento LHD Desarrollos	[tph]	300,0	Remoción del 20% de Marinas	1,2	1,4	3,8	4,4	[hrs]
Tiempo Traslado por disparo	[hr/tronada]	0,50	Traslado Explosivos a la Frente	0,5	0,5	0,5	0,5	[hrs]
Prácticas posicionamiento	[min/par]	5	Posicionamiento Equipo	0,1	0,1	0,1	0,1	[hrs]
Tiempo Carguo de Bateas	[seg/m]	20	Carguo de Tiros	1,7	1,7	3,3	3,1	[hrs]
Evacuación y Tronadura	[min/tronada]	30	Evacuación y Tronadura	0,5	0,5	0,5	0,5	[hrs]
Ventilación	[min/tronada]	45	Ventilación pos Tronadura	0,8	0,8	0,8	0,8	[hrs]
Tiempo Revisión Frente	[min/tronada]	15,0	Revisión Frente	0,3	0,3	0,3	0,3	[hrs]
Tiempo de Acuar a Frente	[min/tronada]	30,0	Acuñadura	0,5	0,5	0,5	0,5	[hrs]

Tabla 47: Estimación del ciclo para perforación y tronadura de bateas

Actividad	ID	Tte.	Mixta Oper.	Unidad	Actividad	ID	Tte.	Mixta Oper.	Unidad
Marcar Frente	MF	3	3	[1/2 hrs]	Medición de Tiros	MT	2	2	[1/2 hrs]
Traslado Jumbo	TJ	1	1	[1/2 hrs]	Traslado Jumbo	TJ	1	1	[1/2 hrs]
Total Perforación	TP	19	20	[1/2 hrs]	Reperforación de Tiros	RP	4	4	[1/2 hrs]
Medición de Tiros	MT	1	1	[1/2 hrs]	Revisión Frente	RF	1	1	[1/2 hrs]
Reperforación de Tiros	RP	2	2	[1/2 hrs]	Pre-Acuñadura	PA	1	1	[1/2 hrs]
Revisión Frente	RF	1	1	[1/2 hrs]	Traslado Explosivos	TE	1	1	[1/2 hrs]
Pre-Acuñadura	PA	1	1	[1/2 hrs]	Posicionamiento Equipo	PE	1	1	[1/2 hrs]
Traslado Explosivos	TE	1	1	[1/2 hrs]	Carguo de Tiros	CT	7	7	[1/2 hrs]
Posicionamiento Equipo	PE	1	1	[1/2 hrs]	Evacuación y Tronadura	1	1	1	[1/2 hrs]
Carguo de Tiros	CT	4	4	[1/2 hrs]	Ventilación	VT	2	2	[1/2 hrs]
Evacuación y Tronadura	1	1	1	[1/2 hrs]	Revisión Frente	RF	1	1	[1/2 hrs]
Ventilación	VT	2	2	[1/2 hrs]	Acuñadura	AC	1	1	[1/2 hrs]
Revisión Frente	RF	1	1	[1/2 hrs]	Remoción 20% Marinas	CM	8	9	[1/2 hrs]
Acuñadura	AC	1	1	[1/2 hrs]	<b>Total Ciclo</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	<b>[1/2 hrs]</b>	
Remoción 20% Marinas	CM	3	3	[1/2 hrs]	<b>Días por Fase 2 de Bateas</b>	<b>0,75</b>	<b>0,75</b>		
<b>Total Ciclo</b>	<b>77</b>	<b>77</b>	<b>[1/2 hrs]</b>		<b>[un/día]</b>	<b>1,33</b>	<b>1,33</b>		
<b>Días por Fase 1 de Bateas</b>	<b>2,50</b>	<b>2,50</b>			<b>[un/mes]</b>	<b>40,00</b>	<b>40,00</b>		
<b>[un/día]</b>	<b>0,40</b>	<b>0,40</b>			<b>Total Ciclo</b>	<b>106</b>	<b>107</b>	<b>[1/2 hrs]</b>	
<b>[un/mes]</b>	<b>12,00</b>	<b>12,00</b>			<b>Días por Bateas</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>		
					<b>[un/día]</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>		
					<b>[un/mes]</b>	<b>10,00</b>	<b>10,00</b>		

Tabla 48: Base para estimación Rendimiento Perforación y Tronadura de bateas

	BATEAS			BATEAS			BATEAS			BATEAS			BATEAS			BATEAS									
	Tte.	Mixta Oper.		Tte.	Mixta Oper.		Tte.	Mixta Oper.		Tte.	Mixta Oper.		Tte.	Mixta Oper.		Tte.	Mixta Oper.								
TURNO A	0,0	0,5	ENTRADA	TURNO B	12,0	12,5	ENTRADA	TURNO A	0,0	0,5	ENTRADA	TURNO B	12,0	12,5	ENTRADA	TURNO A	0,0	0,5	ENTRADA	TURNO B	12,0	12,5	ENTRADA		
	0,5	1,0	DE TURNO		12,5	13,0	DE TURNO		0,5	1,0	DE TURNO		12,5	13,0	DE TURNO		0,5	1,0	DE TURNO		12,5	13,0	DE TURNO		
	1,0	1,5	CM		CM	13,0	13,5		TP	TP	1,0		1,5	TP	TP		13,0	13,5	TP		TP	1,0	1,5	RF	RF
	1,5	2,0			CM	13,5	14,0		TP	TP	1,5		2,0	TP	TP		13,5	14,0	TP		TP	1,5	2,0	AC	AC
	2,0	2,5	MF		MF	14,0	14,5		TP	TP	2,0		2,5	TP	TP		14,0	14,5	TP		TP	2,0	2,5	CM	CM
	2,5	3,0	MF		MF	14,5	15,0		TP	TP	2,5		3,0	TP	TP		14,5	15,0	TP		TP	2,5	3,0	CM	CM
	3,0	3,5	MF		MF	15,0	15,5		TP	TP	3,0		3,5	TP	TP		15,0	15,5	TP		TP	3,0	3,5	CM	CM
	3,5	4,0	TJ		TJ	15,5	16,0		TP	TP	3,5		4,0	TP	TP		15,5	16,0	TP		TP	3,5	4,0	MT	MT
	4,0	4,5	TP		TP	16,0	16,5		TP	TP	4,0		4,5	TP	TP		16,0	16,5	TP		TP	4,0	4,5	MT	MT
	4,5	5,0	TP		TP	16,5	17,0		TP	TP	4,5		5,0	TP	TP		16,5	17,0	TP		TP	4,5	5,0	TJ	TJ
	5,0	5,5	TP		TP	17,0	17,5		TP	TP	5,0		5,5	TP	TP		17,0	17,5	MT		MT	5,0	5,5	RP	RP
	5,5	6,0	COLACIÓN		17,5	18,0	COLACIÓN		5,5	6,0	COLACIÓN		17,5	18,0	COLACIÓN		5,5	6,0	COLACIÓN						
6,0	6,5			18,0	18,5			6,0	6,5			18,0	18,5			6,0	6,5								
6,5	7,0	TP	TP	18,5	19,0	TP	TP	6,5	7,0	TP	TP	18,5	19,0	TP	TP	6,5	7,0	RP	RP						
7,0	7,5	TP	TP	19,0	19,5	TP	TP	7,0	7,5	TP	TP	19,0	19,5	TP	TP	7,0	7,5	RP	RP						
7,5	8,0	TP	TP	19,5	20,0	TP	TP	7,5	8,0	TP	TP	19,5	20,0	RF	RF	7,5	8,0	RP	RP						
8,0	8,5	TP	TP	20,0	20,5	TP	TP	8,0	8,5	TP	TP	20,0	20,5	PA	PA	8,0	8,5	RF	RF						
8,5	9,0	TP	TP	20,5	21,0	TP	TP	8,5	9,0	TP	TP	20,5	21,0	TE	TE	8,5	9,0	PA	PA						
9,0	9,5	TP	TP	21,0	21,5	TP	TP	9,0	9,5	TP	TP	21,0	21,5	PE	CT	9,0	9,5								
9,5	10,0	TP	TP	21,5	22,0	TP	TP	9,5	10,0	TP	TP	21,5	22,0	CT	CT	9,5	10,0								
10,0	10,5	TP	TP	22,0	22,5	TP	TP	10,0	10,5	TP	TP	22,0	22,5	CT	CT	10,0	10,5								
10,5	11,0	TP	TP	22,5	23,0	TP	TP	10,5	11,0	TP	TP	22,5	23,0	1	1	10,5	11,0								
11,0	11,5	SALIDA DE TURNO		23,0	23,5	SALIDA DE TURNO		11,0	11,5	SALIDA DE TURNO		23,0	23,5	SALIDA DE TURNO		11,0	11,5	SALIDA DE TURNO							
11,5	12,0			23,5	24,0			11,5	12,0			23,5	24,0			11,5	12,0								

Tabla 49: Estimación del rendimiento en perforación y tronadura de bateas

# ANEXO B: Detalle Programa de Obras

Basado en documentos de referencia (Le-Feaux 2012A, 2012B).

## Anexo B-1: Programa de Obras MEx tipo Teniente

Obra	Detalle	Total	[un]	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	Mes 13	Mes 14	Mes 15	Mes 16	Mes 17	Mes 18	Mes 19	Mes 20	
<b>Malla de Extracción Teniente</b>																								
<b>Calle 1</b>																								
Excavación	Galería 4,8 x 4,5 [m/m]	100	[m]	30,0	16,5	16,5	16,5	20,5																
Pavimentos		84	[m <sup>2</sup> ]										42,0	42,0										
<b>C1-211-N</b>																								
Excavación	Galería 4,8 x 4,5 [m/m]	9,0	[m]	9,0																				
Excavación	Galería 4,4 x 4,3 [m/m]	7,8	[m]		7,8																			
Desquinche	Desquinche a 4,8 x 4,5 [m/m]	39,4	[m <sup>2</sup> ]	39,4																				
Construcción PEX		1	[un]						1,0															
Muro		23,4	[m]						23,4															
Pavimentos	Acceso PEX	9,7	[m <sup>2</sup> ]										9,7											
<b>Fortificación con Cables</b>																								
	C1-211	1,0	[un]					1,0																
<b>C1-211-S</b>																								
Pavimentos	Acceso PEX	9,7	[m <sup>2</sup> ]											9,7										
Muro		23,4	[m]						23,4															
Construcción PEX		1	[un]						1,0															
Desquinche	Desquinche a 4,8 x 4,5 [m/m]	39,4	[m <sup>2</sup> ]	39,4																				
Excavación	Galería 4,4 x 4,3 [m/m]	7,8	[m]		7,8																			
Excavación	Galería 4,8 x 4,5 [m/m]	9,0	[m]	9,0																				
<b>Batea C1-211</b>																								
Piloto		1,0	[un]											1,0										
Batea		1,0	[un]																	1,0				
<b>C1-212-N</b>																								
Excavación	Galería 4,8 x 4,5 [m/m]	9,0	[m]	9,0																				
Excavación	Galería 4,4 x 4,3 [m/m]	7,8	[m]		7,8																			
Desquinche	Desquinche a 4,8 x 4,5 [m/m]	39,4	[m <sup>2</sup> ]	39,4																				
Construcción PEX		1	[un]						1,0															
Muro		23,4	[m]						23,4															
Pavimentos	Acceso PEX	9,7	[m <sup>2</sup> ]										9,7											
<b>Fortificación con Cables</b>																								
	C1-212	1,0	[un]					1,0																
<b>C1-212-S</b>																								
Pavimentos	Acceso PEX	9,7	[m <sup>2</sup> ]										9,7											
Muro		23,4	[m]						23,4															
Construcción PEX		1	[un]						1,0															
Desquinche	Desquinche a 4,8 x 4,5 [m/m]	39,4	[m <sup>2</sup> ]	39,4																				
Excavación	Galería 4,4 x 4,3 [m/m]	7,8	[m]		7,8																			
Excavación	Galería 4,8 x 4,5 [m/m]	9,0	[m]	9,0																				
<b>Batea C1-212</b>																								
Piloto		1,0	[un]											1,0										
Batea		1,0	[un]																	1,0				
<b>C1-213-N</b>																								
Excavación	Galería 4,8 x 4,5 [m/m]	9,0	[m]		9,0																			
Excavación	Galería 4,4 x 4,3 [m/m]	7,8	[m]		7,8																			
Desquinche	Desquinche a 4,8 x 4,5 [m/m]	39,4	[m <sup>2</sup> ]		39,4																			
Construcción PEX		1	[un]						1,0															
Muro		23,4	[m]						23,4															
Pavimentos	Acceso PEX	9,7	[m <sup>2</sup> ]										9,7											
<b>Fortificación con Cables</b>																								
	C1-213	1,0	[un]					1,0																
<b>C1-213-S</b>																								
Pavimentos	Acceso PEX	9,7	[m <sup>2</sup> ]										9,7											
Muro		23,4	[m]						23,4															
Construcción PEX		1	[un]						1,0															
Desquinche	Desquinche a 4,8 x 4,5 [m/m]	39,4	[m <sup>2</sup> ]		39,4																			
Excavación	Galería 4,4 x 4,3 [m/m]	7,8	[m]		7,8																			
Excavación	Galería 4,8 x 4,5 [m/m]	9,0	[m]		9,0																			
<b>Batea C1-213</b>																								
Piloto		1,0	[un]											1,0										
Batea		1,0	[un]																	1,0				
<b>C1-214-N</b>																								
Excavación	Galería 4,8 x 4,5 [m/m]	9,0	[m]		9,0																			
Excavación	Galería 4,4 x 4,3 [m/m]	7,8	[m]		7,8																			
Desquinche	Desquinche a 4,8 x 4,5 [m/m]	39,4	[m <sup>2</sup> ]		39,4																			
Construcción PEX		1	[un]						1,0															
Muro		23,4	[m]						23,4															
Pavimentos	Acceso PEX	9,7	[m <sup>2</sup> ]										9,7											
<b>Fortificación con Cables</b>																								
	C1-214	1,0	[un]						1,0															
<b>C1-214-S</b>																								
Pavimentos	Acceso PEX	9,7	[m <sup>2</sup> ]										9,7											
Muro		23,4	[m]						23,4															
Construcción PEX		1	[un]						1,0															
Desquinche	Desquinche a 4,8 x 4,5 [m/m]	39,4	[m <sup>2</sup> ]		39,4																			
Excavación	Galería 4,4 x 4,3 [m/m]	7,8	[m]		7,8																			
Excavación	Galería 4,8 x 4,5 [m/m]	9,0	[m]		9,0																			
<b>Batea C1-214</b>																								
Piloto		1,0	[un]											1,0										
Batea		1,0	[un]																	1,0				
<b>C1-215-N</b>																								
Excavación	Galería 4,8 x 4,5 [m/m]	9,0	[m]		9,0																			
Excavación	Galería 4,4 x 4,3 [m/m]	7,8	[m]		7,8																			
Desquinche	Desquinche a 4,8 x 4,5 [m/m]	39,4	[m <sup>2</sup> ]		39,4																			
Construcción PEX		1	[un]						1,0															
Muro		23,4	[m]						23,4															
Pavimentos	Acceso PEX	9,7	[m <sup>2</sup> ]										9,7											
<b>Fortificación con Cables</b>																								
	C1-215	1,0	[un]						1,0															
<b>C1-215-S</b>																								
Pavimentos	Acceso PEX	9,7	[m <sup>2</sup> ]										9,7											
Muro		23,4	[m]						23,4															
Construcción PEX		1	[un]						1,0															
Desquinche	Desquinche a 4,8 x 4,5 [m/m]	39,4	[m <sup>2</sup> ]		39,4																			
Excavación	Galería 4,4 x 4,3 [m/m]	7,8	[m]		7,8																			

Malla de Extracción Teniente			Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	Mes 13	Mes 14	Mes 15	Mes 16	Mes 17	Mes 18	Mes 19	Mes 20
Obras	Detalle	Total	[un]																			
<b>Calle 2</b>																						
Excavación	Galería 4,8 x 4,5 [mxm]	100	[m]					34,5	16,5	16,5	16,5	16,0										
Pavimentos		84	[m <sup>2</sup> ]													42,0	42,0					
<b>C2-211-N</b>																						
Excavación	Galería 4,8 x 4,5 [mxm]	9,0	[m]					9,0														
Excavación	Galería 4,4 x 4,3 [mxm]	7,8	[m]					7,8														
Desquinche	Desquinche a 4,8 x 4,5 [mxm]	39,4	[m <sup>2</sup> ]					39,4														
Construcción PEX		1	[un]											1,0								
Muro		23,4	[m]											23,4								
Pavimentos	Acceso PEX	9,7	[m <sup>2</sup> ]													9,7						
<b>Fortificación con Cables</b>																						
C2-211		1,0	[un]									1,0										
<b>C2-211-S</b>																						
Pavimentos	Acceso PEX	9,7	[m <sup>2</sup> ]													9,7						
Muro		23,4	[m]											23,4								
Construcción PEX		1	[un]											1,0								
Desquinche	Desquinche a 4,8 x 4,5 [mxm]	39,4	[m <sup>2</sup> ]																			
Excavación	Galería 4,4 x 4,3 [mxm]	7,8	[m]																			
Excavación	Galería 4,8 x 4,5 [mxm]	9,0	[m]																			
<b>Batea C2-211</b>																						
Piloto		1,0	[un]														1,0					
Batea		1,0	[un]																		1,0	
<b>C2-212-N</b>																						
Excavación	Galería 4,8 x 4,5 [mxm]	9,0	[m]							9,0												
Excavación	Galería 4,4 x 4,3 [mxm]	7,8	[m]							7,8												
Desquinche	Desquinche a 4,8 x 4,5 [mxm]	39,4	[m <sup>2</sup> ]							39,4												
Construcción PEX		1	[un]												1,0							
Muro		23,4	[m]												23,4							
Pavimentos	Acceso PEX	9,7	[m <sup>2</sup> ]														9,7					
<b>Fortificación con Cables</b>																						
C2-212		1,0	[un]										1,0									
<b>C2-212-S</b>																						
Pavimentos	Acceso PEX	9,7	[m <sup>2</sup> ]														9,7					
Muro		23,4	[m]												23,4							
Construcción PEX		1	[un]												1,0							
Desquinche	Desquinche a 4,8 x 4,5 [mxm]	39,4	[m <sup>2</sup> ]																			
Excavación	Galería 4,4 x 4,3 [mxm]	7,8	[m]							7,8												
Excavación	Galería 4,8 x 4,5 [mxm]	9,0	[m]							9,0												
<b>Batea C2-212</b>																						
Piloto		1,0	[un]														1,0					
Batea		1,0	[un]																		1,0	
<b>C2-213-N</b>																						
Excavación	Galería 4,8 x 4,5 [mxm]	9,0	[m]							9,0												
Excavación	Galería 4,4 x 4,3 [mxm]	7,8	[m]							7,8												
Desquinche	Desquinche a 4,8 x 4,5 [mxm]	39,4	[m <sup>2</sup> ]							39,4												
Construcción PEX		1	[un]												1,0							
Muro		23,4	[m]												23,4							
Pavimentos	Acceso PEX	9,7	[m <sup>2</sup> ]														9,7					
<b>Fortificación con Cables</b>																						
C2-213		1,0	[un]											1,0								
<b>C2-213-S</b>																						
Pavimentos	Acceso PEX	9,7	[m <sup>2</sup> ]														9,7					
Muro		23,4	[m]												23,4							
Construcción PEX		1	[un]												1,0							
Desquinche	Desquinche a 4,8 x 4,5 [mxm]	39,4	[m <sup>2</sup> ]																			
Excavación	Galería 4,4 x 4,3 [mxm]	7,8	[m]							7,8												
Excavación	Galería 4,8 x 4,5 [mxm]	9,0	[m]							9,0												
<b>Batea C2-213</b>																						
Piloto		1,0	[un]														1,0					
Batea		1,0	[un]																		1,0	
<b>C2-214-N</b>																						
Excavación	Galería 4,8 x 4,5 [mxm]	9,0	[m]									9,0										
Excavación	Galería 4,4 x 4,3 [mxm]	7,8	[m]									7,8										
Desquinche	Desquinche a 4,8 x 4,5 [mxm]	39,4	[m <sup>2</sup> ]									39,4										
Construcción PEX		1	[un]													1,0						
Muro		23,4	[m]												23,4							
Pavimentos	Acceso PEX	9,7	[m <sup>2</sup> ]														9,7					
<b>Fortificación con Cables</b>																						
C2-214		1,0	[un]												1,0							
<b>C2-214-S</b>																						
Pavimentos	Acceso PEX	9,7	[m <sup>2</sup> ]														9,7					
Muro		23,4	[m]												23,4							
Construcción PEX		1	[un]												1,0							
Desquinche	Desquinche a 4,8 x 4,5 [mxm]	39,4	[m <sup>2</sup> ]																			
Excavación	Galería 4,4 x 4,3 [mxm]	7,8	[m]							7,8												
Excavación	Galería 4,8 x 4,5 [mxm]	9,0	[m]							9,0												
<b>Batea C2-214</b>																						
Piloto		1,0	[un]														1,0					
Batea		1,0	[un]																		1,0	
<b>C2-215-N</b>																						
Excavación	Galería 4,8 x 4,5 [mxm]	9,0	[m]									9,0										
Excavación	Galería 4,4 x 4,3 [mxm]	7,8	[m]									7,8										
Desquinche	Desquinche a 4,8 x 4,5 [mxm]	39,4	[m <sup>2</sup> ]									39,4										
Construcción PEX		1	[un]													1,0						
Muro		23,4	[m]												23,4							
Pavimentos	Acceso PEX	9,7	[m <sup>2</sup> ]														9,7					
<b>Fortificación con Cables</b>																						
C2-215		1,0	[un]												1,0							
<b>C2-215-S</b>																						
Pavimentos	Acceso PEX	9,7	[m <sup>2</sup> ]														9,7					
Muro		23,4	[m]													23,4						
Construcción PEX		1	[un]													1,0						
Desquinche	Desquinche a 4,8 x 4,5 [mxm]	39,4	[m <sup>2</sup> ]																			
Excavación	Galería 4,4 x 4,3 [mxm]	7,8	[m]									7,8										
Excavación	Galería 4,8 x 4,5 [mxm]	9,0	[m]									9,0										
<b>Batea C2-215</b>																						
Piloto		1,0	[un]														1,0					
Batea		1,0	[un]																		1,0	

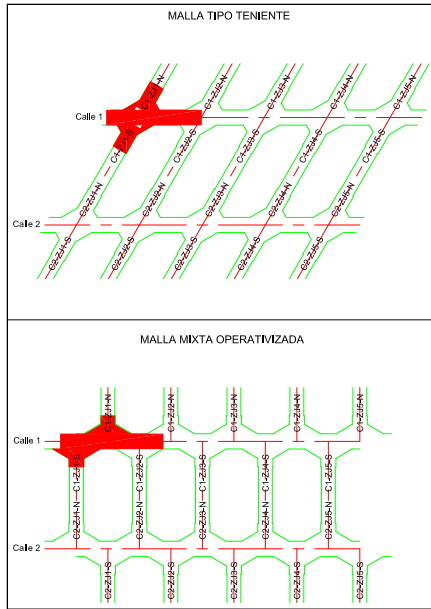
Tabla 51: Obras asociadas a Calle 2, Módulo de referencia MEx tipo Teniente





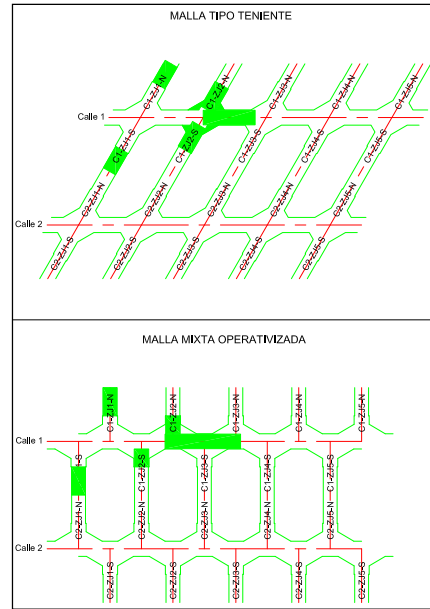


## Anexo B-3: Figuras Comparativas Programa Mensual de Obras



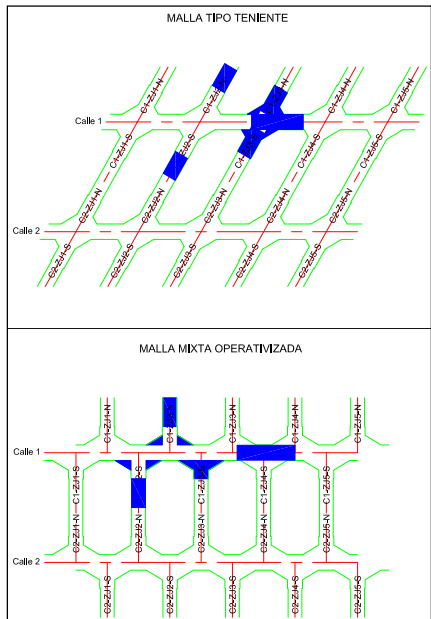
Excavación Galerías-Desquinches Calle 1

Figura 64: Obras mes 1



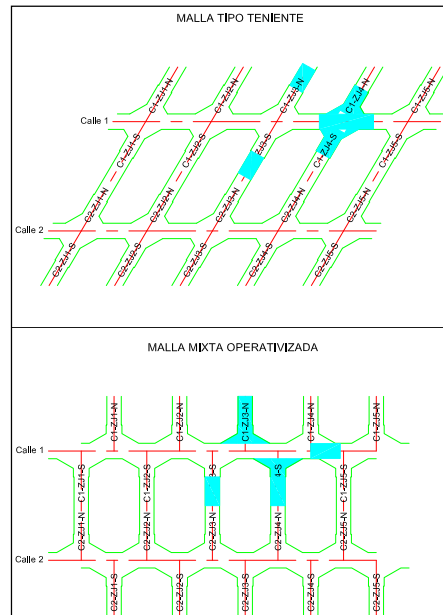
Excavación Galerías-Desquinches Calle 1

Figura 65: Obras mes 2



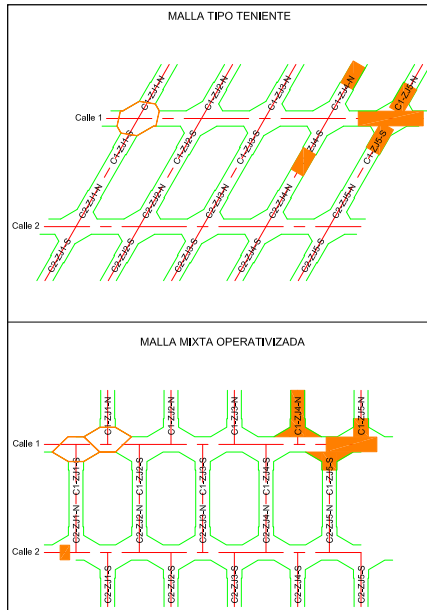
Excavación Galerías-Desquinches Calle 1

Figura 66: Obras mes 3



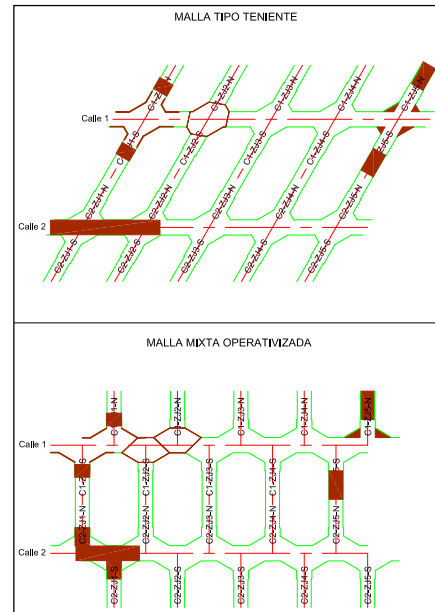
Excavación Galerías-Desquinches Calle 1

Figura 67: Obras mes 4



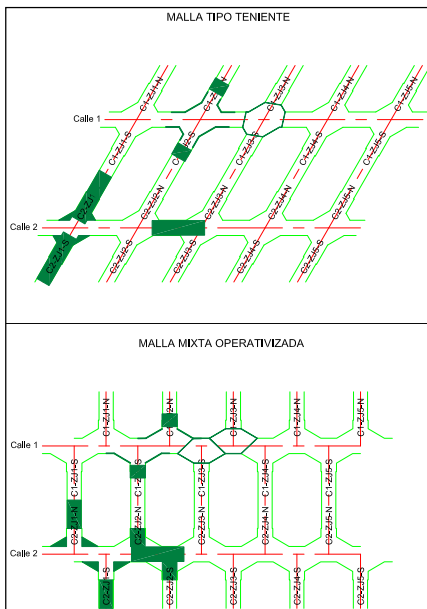
Excavación Galerías-Desquinces Calles 1 y 2  
Fortificación intersección con cables Calle 1

Figura 68: Obras mes 5



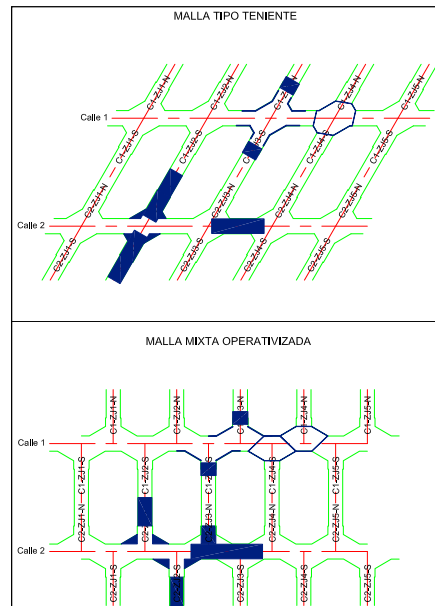
Excavación Galerías-Desquinces Calles 1 y 2  
Fortificación intersección con cables Calle 1  
Construcción PEx y Muros Calle 1

Figura 69: Obras mes 6



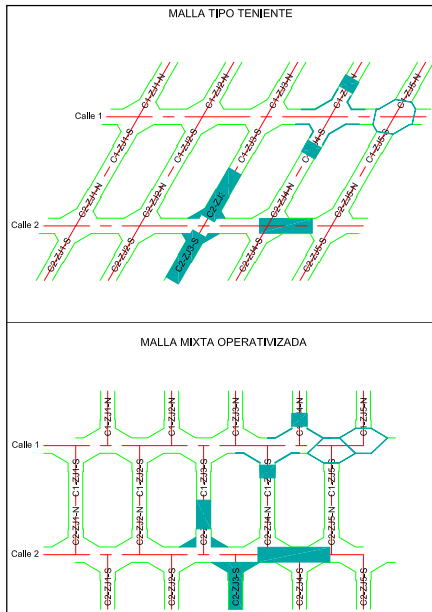
Excavación Galerías-Desquinces Calle 2  
Fortificación intersección con cables Calle 1  
Construcción PEx y Muros Calle 1

Figura 70: Obras mes 7



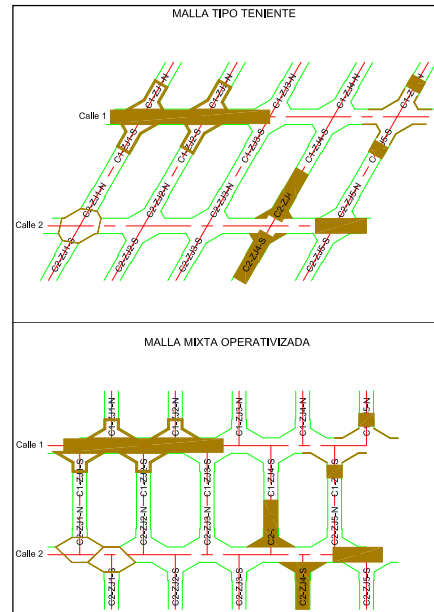
Excavación Galerías-Desquinces Calle 2  
Fortificación intersección con cables Calle 1  
Construcción PEx y Muros Calle 1

Figura 71: Obras mes 8



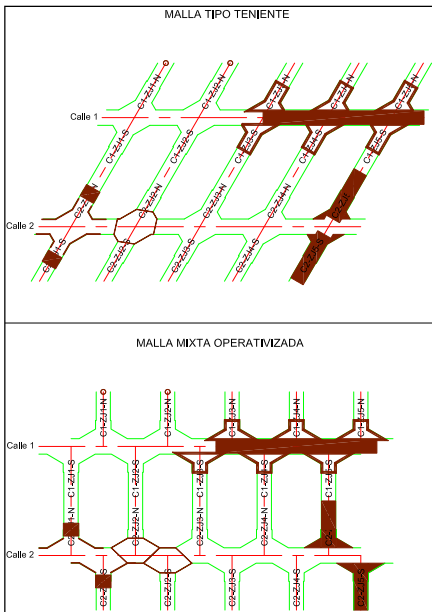
Excavación Galerías-Desquiches Calle 2  
Fortificación intersección con cables Calle 1  
Construcción PEx y Muros Calle 1

Figura 72: Obras mes 9



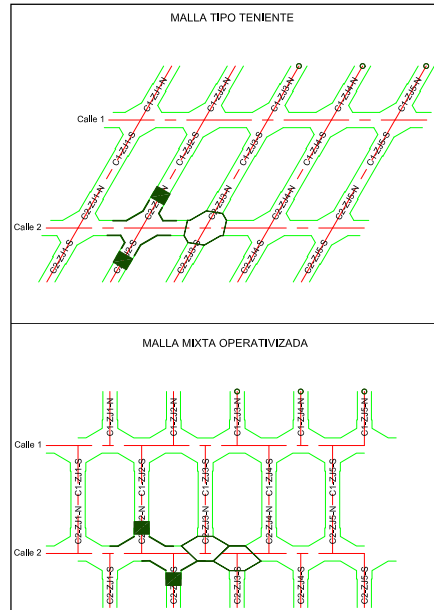
Excavación Galerías-Desquiches Calle 2  
Fortificación intersección con cables Calle 2  
Construcción PEx y Muros Calle 1  
Pavimentos Calle 1

Figura 73: Obras mes 10



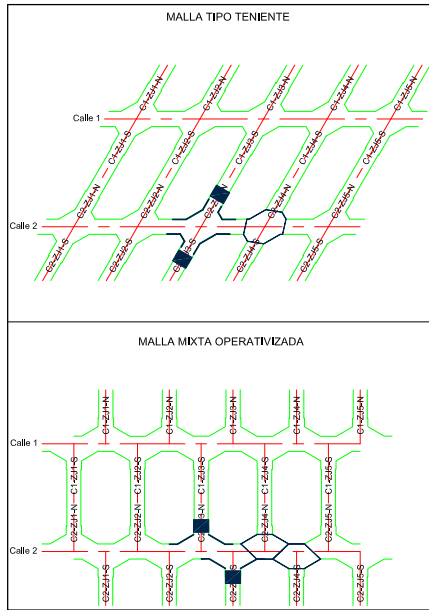
Excavación Galerías-Desquiches Calle 2  
Fortificación intersección con cables Calle 2  
Construcción PEx y Muros Calle 2  
Pavimentos y Chimeneas Piloto Bateas Calle 1

Figura 74: Obras mes 11



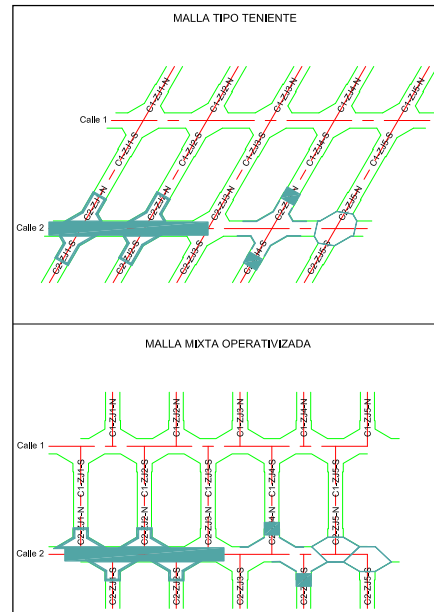
Fortificación intersección con cables Calle 2  
Construcción PEx y Muros Calle 2  
Chimeneas Piloto Bateas Calle 1

Figura 75: Obras mes 12



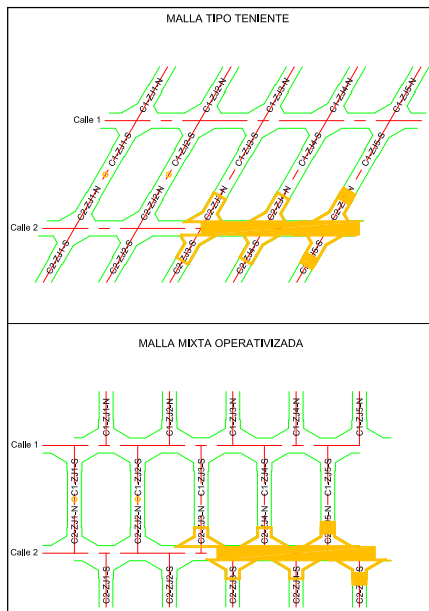
Fortificación intersección con cables Calle 2  
 Construcción PEx y Muros Calle 2

Figura 76: Obras mes 13



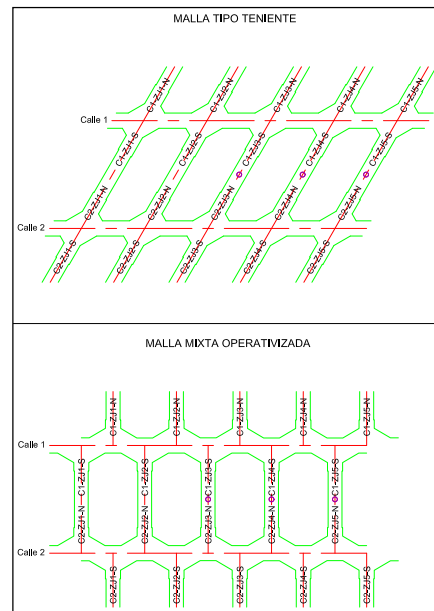
Fortificación intersección con cables Calle 2  
 Construcción PEx y Muros Calle 2  
 Pavimentos Calle 2

Figura 77: Obras mes 14



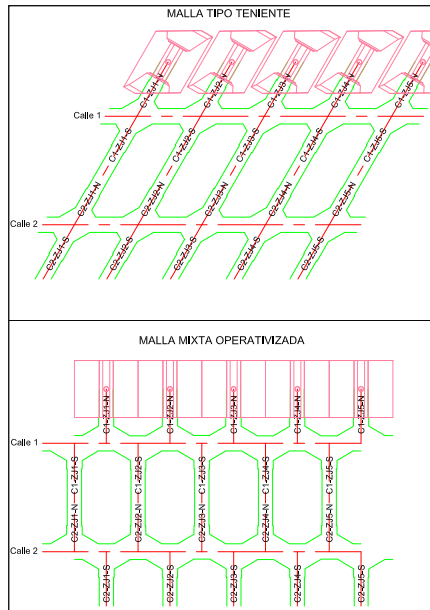
Construcción PEx y Muros Calle 2  
 Pavimentos Calle 2  
 Chimeneas Piloto Bateas Calle 2

Figura 78: Obras mes 15



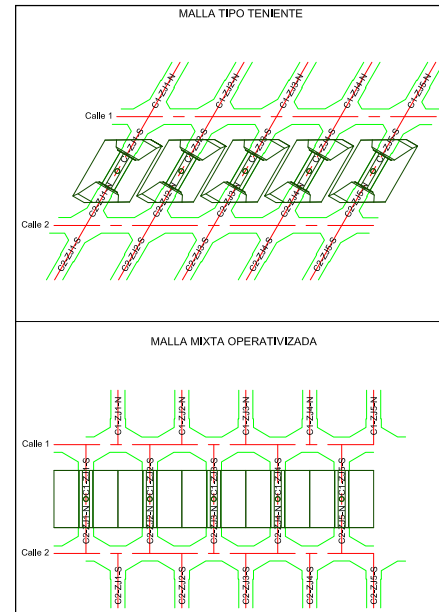
Chimeneas Piloto Bateas Calle 2

Figura 79: Obras mes 16



Apertura Bateas Calle 1

Figura 80: Obras mes 17



Apertura Bateas Calle 2

Figura 81: Obras mes 18

## ANEXO C: Autorización para el uso de Información

*Quilicura 9 de Junio, 2020*

**Sr.:** Andrés Avendaño Figueroa  
Gerente Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea  
Codelco Chile

**De:** René Le-Feaux Cortés  
Ingeniero Civil de Minas, estudiante de Magíster de Minería, Universidad de Chile

**Ref.:** Solicitud de autorización en uso de información Ingeniería Básica, Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea, con fines académicos (Tesis de Magíster)

---

Estimado señor Avendaño,

Durante el año 2019, he estado realizando actividades de estudios de Magíster en Minería, en el Departamento de Ingeniería de Minas de la Universidad de Chile, del cual he cumplido con la totalidad de aprobación de los cursos del programa, e inicié el desarrollo de mi tesis, cuyo tema principal es la “PROPUESTA DE DISEÑO DE MALLA DE EXTRACCIÓN MIXTA (RECTANGULAR-TRIANGULAR)”, aplicable principalmente (no excluyente) a minería de Block y Panel Caving. El título del trabajo en desarrollo no es definitivo, dado que se han generado algunos cambios en la orientación del tema, sin embargo, la esencia del trabajo desarrollado sigue siendo la misma, que es proponer un diseño que permita mejorar aspectos constructivos y operativos en la minería de este tipo de explotaciones.

El desarrollar esta propuesta, viene a consolidar una idea que tengo desde hace muchos años atrás, y que durante mi participación en el proyecto Mina Chuquicamata Subterránea (PMCHS), realicé algunos diseños orientados a esta propuesta, precisamente el año 2013 pude presentar algunas opciones de diseño, que posteriormente, durante mi paso por el proyecto Andes Norte Nuevo Nivel Mina, pude ir ajustándolo, lo que me ha permitido hoy en día consolidar una propuesta más acabada.

Dentro del desarrollo del tema, se han realizado variados análisis dentro de las limitantes que me permite mi condición de estudiante de posgrado independiente, en que he podido comparar un diseño tradicional de malla tipo Teniente con el diseño que estoy proponiendo en mi estudio, y uno de los ejercicios que debe incluirse dice relación con la comparación de los plazos requeridos para la ejecución de obras para la habilitación de un módulo de referencia en ambos casos, y por ello necesito respaldar los criterios utilizados para la secuencia de construcción de dicho módulo.

Durante mi participación en PMCHS, realicé distintos ejercicios de diseño, ubicaciones, rendimientos y secuencias constructivas de los distintos niveles del proyecto, por lo que cuento con el conocimiento para poder aplicarlos a mi estudio, sin embargo, para poder respaldar el uso de dichos datos, es necesario contar con referencias de aplicación de criterios, y en este caso me sería de mucha utilidad contar con la autorización de parte suya, para hacer uso de la siguiente documentación:



- *PLAN DE PREPARACIÓN 1º NIVEL DE EXPLOTACIÓN PMCHS, MEMORIA DE CÁLCULO OBRAS NIVEL DE PRODUCCIÓN (N09DM41-F13-N09DM41-7121-MDCMI04-2200-001-P), 23 de abril de 2012.*
- *PREPARACIÓN MINERA PRIMER NIVEL DE EXPLOTACIÓN PMCHS (N09DM41-F13-N09DM41-7121-INFMI04-2000-027-P), 30 de agosto de 2012.*
- *PROPUESTA DE DISEÑO MALLA DE EXTRACCIÓN TIPO CHUQUICAMATA (N09DM41-F15-N09DM41-7121-INFMI04-2200-001-P), 24 de mayo de 2013.*

En dichos documentos se presentan los principales criterios utilizados para la estimación de los programas de construcción de los distintos niveles del proyecto, en especial mi interés apunta a utilizar de modo referencial algunos de ellos, con el fin de respaldar mis ejercicios.

Cabe notar que los valores a utilizar NO serán precisamente los indicados en los documentos, ya que estos pueden variar dependiendo de la faena en que se apliquen, por lo que mi interés es poder referenciar y utilizar los criterios en que se basaron dichos resultados.


Finalmente, agradezco vuestra colaboración para el avance en mi trabajo de tesis, y a través suyo también agradecer a la Corporación (Codelco-Chile) por haberme permitido disponer de esta información, y obviamente por haber sido parte del desarrollo de estos trabajos en mi paso por PMCHS.

Esperando una buena acogida, se despide atentamente de usted:

**René Le-Feaux Cortés**

*Ingeniero Civil de Minas  
Universidad de Chile.*

AUTORIZO AL SEÑOR RENÉ LE-FEAUX CORTÉS, A HACER USO DE LA INFORMACIÓN SOLICITADA, PARA LOS FINES INDICADOS EN ESTE DOCUMENTO.

  
 Andrés Avendaño  
 Figueroa  
 2020.06.15 14:27:50  
 -04'00'  
**Andrés Avendaño Figueroa**  
*Gerente Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea  
 Codelco Chile*

## **ANEXO D: Paper en Preparación para Publicar**

### **Mixed extraction layout design proposal and Evaluation**

**Rene Le-Feaux**

#### **Abstract**

The size of the LHD is one of the most influential factors in the design of extraction layout, mainly because of the constant search for greater production capacities. However other aspects need to be considered such as ore recovery, stability, constructability, and operability, postponing geometric aspects of the design related to a better use of the resource to be extracted. Usually, balancing both needs gets complicated since apparently one will always go into the back of the other. Nevertheless, experience and theory has allowed both needs to be integrate resulting from this a into a design proposal for extraction layout oriented to Block/Panel Caving mining. –without excluding its potential conceptual application to other methods of underground exploitation -. The design proposed in this study is compared to a Teniente layout design, under equivalent conditions, in order to identify the advantages and disadvantages that might be present according to one of the most common design in Block/Panel Caving mining, and thus define the procedures to follow to its potential application on an industrial scale.

In this article.

Keywords: Extraction layout, LHD, Mining Design, Block/Panel Caving.

#### **1. Introduction**

One of the most influential factors in extraction layout designs (MEx) is the size of the Load Haul Dump (LHD) equipment. The design of the MEx also takes into consideration aspects related to the ore recovery, stability, dilution, interaction between extraction ellipsoids, i.e., the geometry of the extraction area in conjunction with the productive results.

Higher productivity leads you to search for higher-capacity equipment (Laubscher, 1994). Utilization of these equipment and maintaining operational criteria, such as load of straight equipment, forces the draw point (DP) to be located at a larger distance from the production drift. Then, the distance between the extraction ellipsoids over production drift increase (Fig. 1) generating higher volume of immobile ore and a lower recovery. Under these operating conditions, the LHD must move to access the DP and go straight. Then exert force on the slope "spoon" against the slope to load the bucket and move to retreat. Which demands energy and time within the cycle, so improving operational conditions might improve the performance of the equipment taking better advantage of the resource.



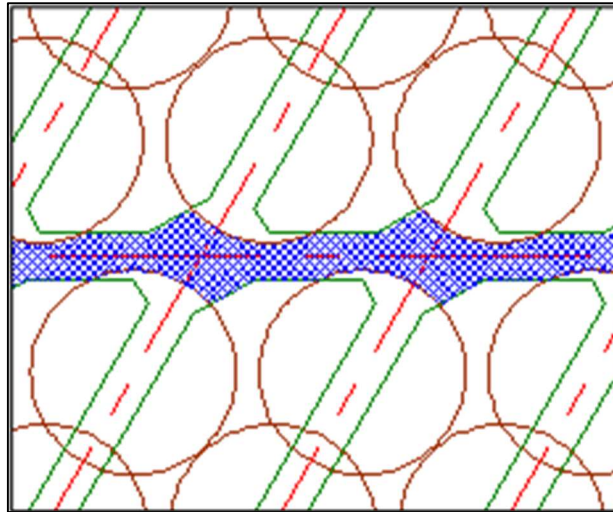


Figure 1: Plan view of ellipsoids of movement over the extraction layout.

The incorporation of semi-autonomous equipment into the load and transport process, makes it necessary to have expeditious areas of operation in purpose of taking advantage of these systems (Uribe, 2012) (for example not requiring a change of direction to load on DP), which within the cycle could mean 20 to 40 minutes within a 12-hour shift. Data under investigation (Le-Feaux, 2020), as well as studies of the operation of access to DP based on production simulations (in typical MEx designs), indicates that productivity gains in order of 30% considering that the LHD continues to enter the DP, by increasing the volume of excavation in accesses (mainly in the sharp corner of the pillars), without significantly affecting the stability of the sector. So, the design of Mixed MEx could even improve that increase in equipment productivity by not having to enter DP (Gomez et al. 2020).

One of the most relevant aspects about the proposal of this Mex design, is that the DP material is not faced by the LHD in a straight way. In typical MEx, the LHD faces aligned with the extraction drift. It has been observed that, operationally, this condition does not always occur, and it is common to note that LHD frequently faces crooked material. But design recommendations will always aim to ensure that the LHD is straight at load.

From the literature (Castro et al. 2007, Orellana 2020), flow studies, in general, only consider its behavior from the opening at the base of the column upwards, not finding studies indicating effects on the flow considering the direction in how the material is extracted (from the opening of the base).

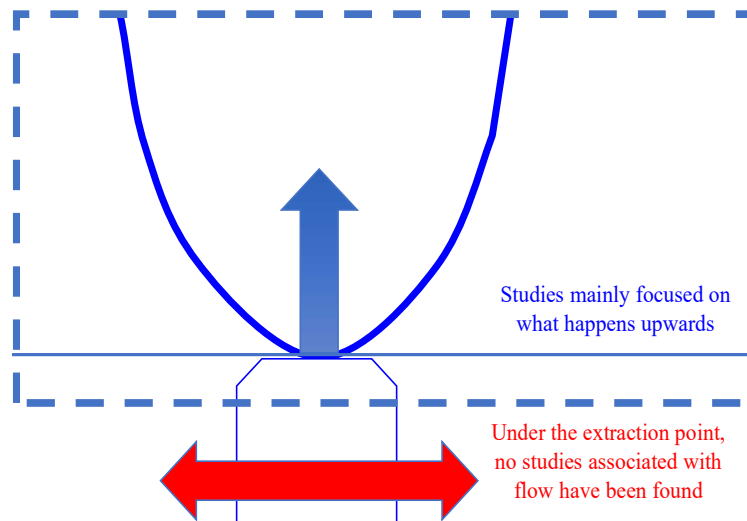


Figure 2: Scheme of the main objective of bibliography studies

About the Geometry of extraction ellipsoids, according to (Castro et al, 2012), indicate that the flow has a diameter of approximately 20 [m] at an extraction height of 100 [m] and indicates that it is the height of interaction for the main parameter to consider it for the design. However, for the development of this design proposal, a smaller diameter will be considered on the extraction ellipsoids.

## 2. "Non-frontal loading" concept

According to a validation tests of LHD semi-autonomous systems in mines currently in operation, the time associated with the loading process is approximately 40 seconds per cycle (Le-Feaux, 2020) and the effect of decreasing the number of maneuvers on the load is under investigation. In the present study, it is proposed to improve the operating conditions of the LHD equipment in an exploitation area. As a first step, a design change in the geometry access to the DP, and subsequently generate a new design of Mex. This new design will allow the DP to approach the street, without the slope of ore interfering with it, so the LHD does not need to enter the DP. Nevertheless, it is enough to slightly vary its direction and load on the side of the slope as it is illustrated in the following figures below (Fig. 3-4). Thus, the objective to evaluate a mixed MEx design (rectangular-triangular) with the right angle between production, drift and draw bell drift; and compare it on an equal footing along with the mesh of Teniente design -in which the streets are spliced with the trench galleries in 60 degrees-.

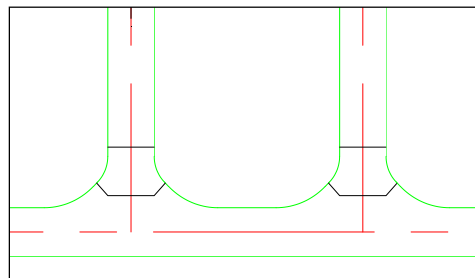


Figure 3: Design bringing DP closer to the Production Drift

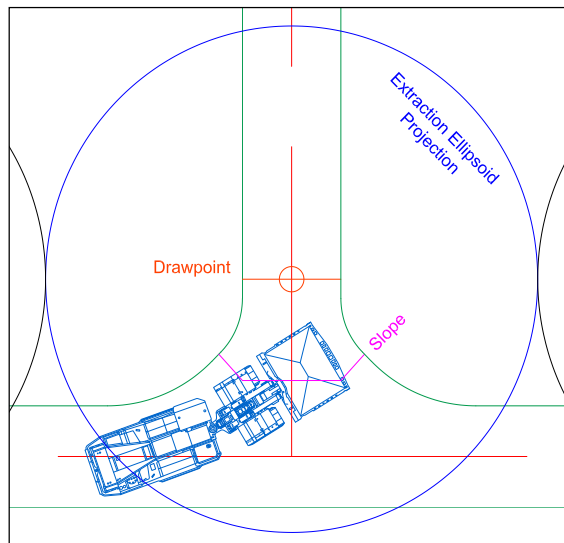


Figure 4: Effects on loading with LHD

This would allow:

- Use almost any LHD equipment on the same farm (limited only by the Production Drift section).
- Decrease maneuver time to access DP (no entry maneuvers).
- Decrease the energy in the extraction of the material (cutting the slope on the side would be less resistance than in the front).
- Decrease operator and equipment exposure to the displacement of material on the slope (the cab is outside the slope spill line).
- Bring the extraction ellipsoids closer to the Production Drift, improving the interaction between facing DP generating less load on the Crown Pillar.
- Design of symmetrical or continuous draw bells.
- Decreased open light in access to DP.
- Improve operating conditions of LHD semi-autonomous systems.

However, there are also some possible disadvantages, such as:

- Decreased bucket filling factor in LHD.
- Complications for the download (activity closer to the Production Drifts and its infrastructure).
- Less space to arrange frames on the DP.
- Different slope angles according to granulometry that could decrease the range of LHD to the material in the slope.
- Right-angle splices could lead some degree of difficulty in their construction.

This concept has been developed years ago (Le-Feaux, 2013), registering the first formal proposal for implementation in 2013. Which was raised as a design option that could be applied in a Block Caving project. Some illustrations (Fig. 5) of possible applications (Le-Feaux, 2013) studied at the time:

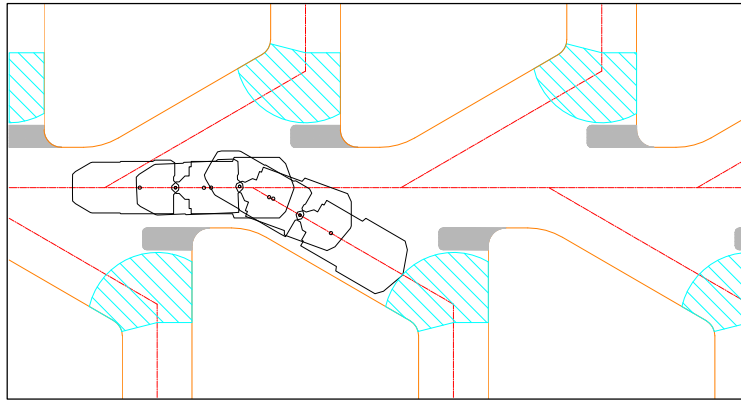


Figure 5: Experimental design with “non-frontal” loading

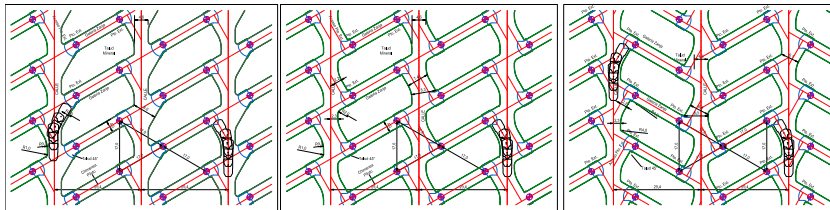


Figure 6: Modification of Teniente MEx and Fish-Bone

### 3. Mixed MEx Design Proposal (Rectangular-Triangular)

Most common MEx designs in mining are two: Teniente layout and Henderson layout, with their variants and adaptations to its distinct conditions of each project. Proposing a new design is a major challenge, principally, because of the risk of not achieving better results than those obtained in typical design. The difficulty of testing at an industrial level, is what this proposal has been supporting, in a theoretically matter, in the best possible way.

From which would occur at a lower height above the draw point considering the effect, this would have on the Crown Pillar in Production Drift. In this case, an optimization will not be applied in the spacing between DP within the MEx, but the design of Teniente MEx versus a Mix MEx design will be taken as a reference. MEx, to evaluating them based on the typical indicators used for this purpose. Once each user defines the Geometry or criteria that they will use to determine the diameter of the ellipsoids, the design itself will be potentially applicable and will have to undergo the Comparative Evaluation with other typical MEx designs and define which will offer better expectations for their application. For the development of this study, the dimensions of the diameters in the ellipsoids shall be considered as reference.

Also, it should be noted that for the It should be distinguished the geometric and economic aspects of each project in which evaluation will be carried out. There are methodologies proposed for this (Castro et al, 2012), so it is necessary to have specific information such as: characteristics of the ore, height of columns to be extracted, laws, development costs, among others, that for the case under study, are not available, therefore reference data will be considered for the designs to be compared (Le-Feaux, 2012A, 2012B, 2013, 2019-2020).

### 3.1 General Methodology

The proposed base design would allow for straight loading equipment, plus an approach from DP to Production Drift is illustrated in Figure 7. Under this concept, a design was defined in greater detail, which will be subjected to the corresponding technical analyses, and based on experience, the effects that this might generate on its construction and operation were estimated.

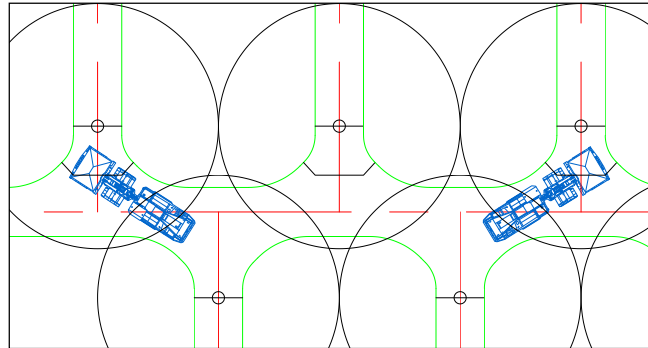


Figure 7: Design Base for Mixed MEX

One of the relevant aspects of the design presented is that the team does not straight face the slope of the material in the DP, the load would not be symmetrical, and this could affect the flow behavior by generating distortions in its geometry. A Mixed MEX (Rectangular-Triangular) design (Le-Feaux, 2012A, 2012B, 2013) will be defined, compared under conditions equivalent to a Teniente MEX (Le-Feaux, 2019-2020), in order to establish the advantages and disadvantages of the design, and draw a subsequent analysis path either at the laboratory level or on an industrial scale. The steps to follow will be exposed below: Definition of design guidelines, design by Teniente MEX and Mixed MEX, sizing of works and comparative evaluation between MEX.

### 3.2 MEX Design Guidelines

These guidelines are principally based on the design of a Teniente MEX (Le-Feaux, 2019-2020), so as to use data backed by years of application in large mining.

Item	Value	[Unit]	Comments
Ellipsoid radio	10	[m]	For comparative analysis purposes
Space between production drifts	34	[m]	
Production Drifts	4.8 x 4.5	[m x m]	Semicircular excavated section (without over excavation)
Draw bell drift	4.4 x 4.3	[m x m]	
DP access section	4.8 x 4.5	[m x m]	
Array for bolts in exposed area	1 x 1	[m x m]	Bolt-Mesh production drifts, DP and draw bell drift
Shotcrete in exposed area	0.1	[m]	Thickness final production drifts y DP
DP frames	3	[un]	For comparative
Pavement	20	[cm]	Thickness final Production Drifts, DP
Contention wall	2 x 0.20	[m x m]	Wall section high x width
Slope angle	45	[°]	For comparative
Slope	4	[m]	Plant projection

Table 1: Data for MEX comparative design

A module of 6,800 [m<sup>2</sup>], with 20 DP, was used as a reference area for the construction locations of both designs to assess the constructability of the sector, as a result the following (dimensions in meters):

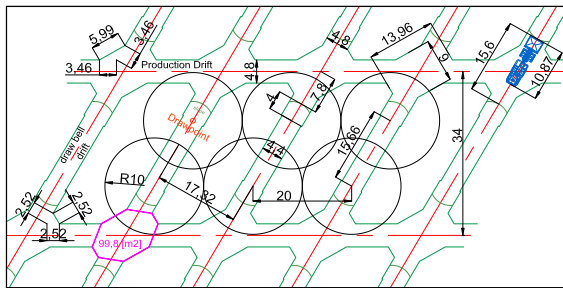


Figure 8: Teniente MEx

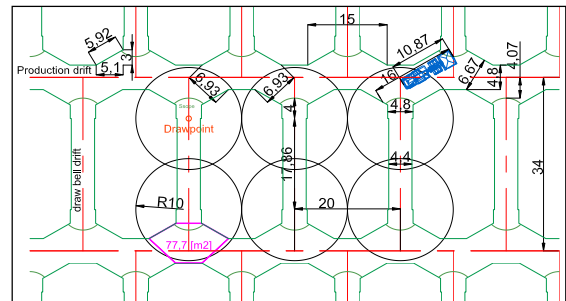
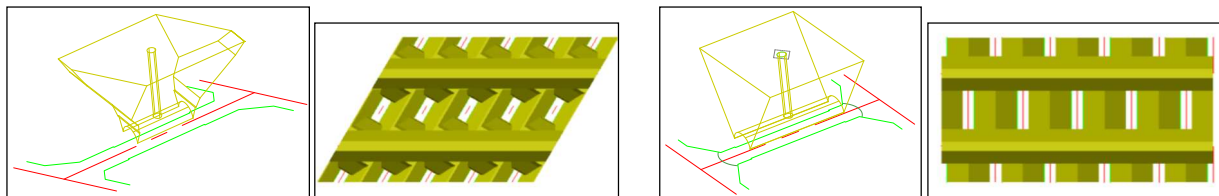


Figure 9: Mixed MEx

Considering that one of the important excavations that can be affected by the design is the Draw bell, the conceptual design of the Draw bell is included in the analysis.



Teniente MEx

Mixed MEx

Figure 10: Draw bell excavation

It is observed that the symmetry of the design in the Mixed MEx, generates symmetry in the design of the draw bells, which in turn should generate better conditions of Stability and, also for its excavation.

Item	Detail	[un]	Tte. MEx.	Mixed MEx	Tte-Mixed	Comments
Drift Excavated section: 4.8 x 4.5 [m x m]	Production Drift	[m]	200	200		Bolt + Mesh + Shotcrete all its long independent that breaks into another gallery
	Excavation	[m <sup>3</sup> ]	3,825.6	3,825.6		No over digging
	Bolt	[un]	2,348	2,348		Gallery exposed area
	Mesh	[m <sup>2</sup> ]	3,052.3	3,052.3		Gallery exposed area + 30% Overlap
	Shotcrete	[m <sup>3</sup> ]	231.7	231.7		Doesn't consider rejection
	Access to DP	[m]	180.6	113.4	67	No excavation in high-speed corners
	Excavation	[m <sup>3</sup> ]	3,454	2,169.1	1,285	No over digging
	Bolt	[un]	2,120	1,332	788	Gallery exposed area
	Mesh	[m <sup>2</sup> ]	2,755,9	1,730,7	1,025	Gallery exposed area + 30% Overlap
	Shotcrete	[m <sup>3</sup> ]	209.2	131.4	78	Doesn't consider rejection
Drift Excavated section: 4.4 x 4.3 [m x m]	Draw Bell Drift	[m]	156.6	178.6	-22	Bolt + Mesh all its long independent that breaks into another gallery
	Excavation	[m <sup>3</sup> ]	2,637.5	3,008.1	-371	No over digging
	Bolt 1 x 1	[un]	1,741	1,985	-244	Gallery exposed area
	Mesh	[m <sup>2</sup> ]	2,262.1	2,579.8	-318	Gallery exposed area + 30% Overlap
Geometry for excavation corners: 4.8 x 4.5 [m x m]	Excavation	[m <sup>3</sup> ]	788.9	1,435.9	-647	Access curves no over digging
	Bolt 1 x 1	[un]	1,260	1,620	-360	Exposed excavation area
	Mesh	[m <sup>2</sup> ]	1,613.4	2,088.1	-475	Exposed excavation area + 30% overlap
	Shotcrete	[m <sup>3</sup> ]	124.1	160.6	-37	Doesn't consider rejection
DP	Construction	[un]	20	20		
	Steel frames	[un]	60	60		3 frames by DP
Pavement		[m <sup>3</sup> ]	361.5	334.8	27	Pavement DP included
Contention wall		[m <sup>3</sup> ]	187.3	136.2	51	Wall exposed to LHD transit
Cables	Intersections	[un]	320	360	-40	Cables 9 [m]
Pilot draw bell 1.5 [m] diameter	Excavation	[m]	137	137		10 pilot draw bells
		[m <sup>3</sup> ]	242.1	242.1		
Drilling Draw bell	Step 1 drillholes 3"	[mb]	3,014	3,108	-94	10 draw bells
	Holes	[un]	200	200		
	Step 2 drillholes 3"	[mb]	5,882	5,605.2	277	
	Drillholes	[un]	380	360	20	
Draw bell	Excavation	[m <sup>3</sup> ]	28,100	33,110	-5,010	10 draw bells No over digging

Table 2: Comparative Cubage



### 3.3 Results

The following comparative results are obtained from the proposed design.

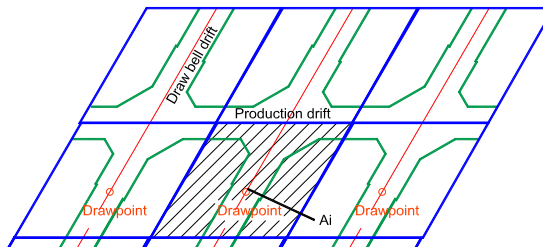
Resume by Module	[un]	Tte.	Mixed	(Tte – Mixed)	
Horizontal	[m]	537	492	45	8.4%
Excavations	[m <sup>3</sup> ]	39,048	43,791	-4,743	-
	[t]	103,477	116,045	-	-
Bolts	[un]	7,469	7,285	184	2.5%
Mesh	[m <sup>2</sup> ]	9,684	9,451	233	2.4%
Shotcrete	[m <sup>3</sup> ]	565	524	41	7.3%
Pavement	[m <sup>3</sup> ]	362	335	27	7.4%
Concrete walls	[m <sup>3</sup> ]	187	136	51	27.3%
Cables	[un]	320	360	-40	-
DP	[un]	20	20		
Steel frames	[un]	60	60		
Verticals	[m]	137	137		
Drilled Meters	[mb]	8,896	8,713	183	2.1%
Drillholes	[un]	580	560	20	3.4%

Table 3: Resume Comparative Cubage

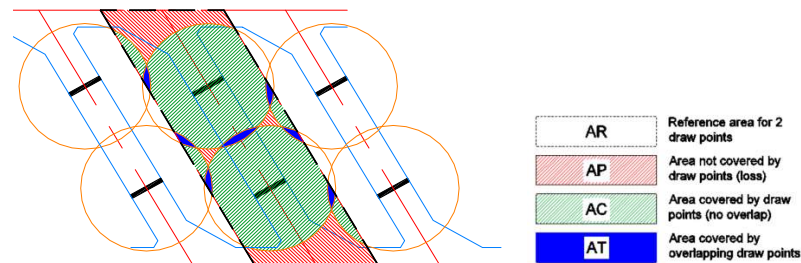
### 3.4 Comparative evaluation between MEx

The following design aspects of an MEx will be considered (Chacon, 1980):

- **Density:** Area of Influence (Ai) of each DP within the MEx.



- **Utilization (Ap):** Area covered by the influence of DP, regarding to the area covered by the design on which the MEx is evaluated.



$$A_p [\%] = ( 1 - AP / AR ) * 100$$

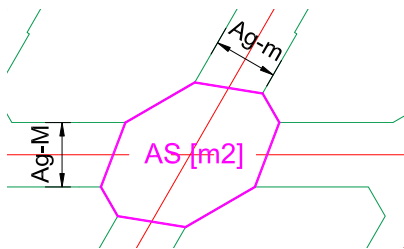
- **Sustentation (S):** It corresponds to the solid pillar area that remains after the productions of Production Drifts and Draw Bell Drifts, concerning to the area delimited by the axes of the excavated Production Drifts and Draw Bell Drifts.





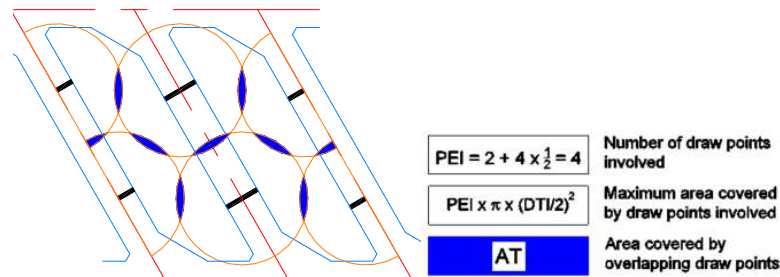
$$S [\%] = AP * 100 / AR$$

- **Maximum Light (L)** (Le-Feaux, 2020): Relationship between the excavated area in a singularity in relation to the width of the main gallery generated by the excavation.



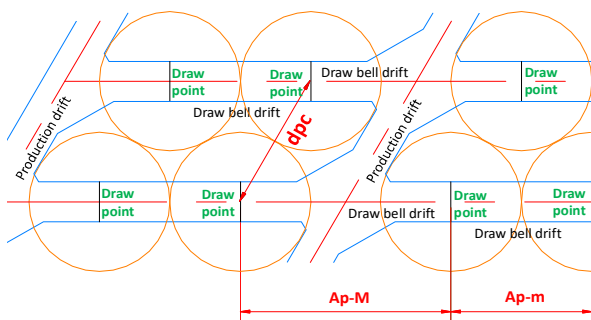
$$L_{MEx} [m] = AS / Ag$$

- **Dilution (DL)**: Corresponds to the shared area (Overlap) of interaction in the DP, relative to the area generated by the Interactive Pull Diameter of each DP.



$$DL [\%] = AT * 100 / (PEI * p * (DTI / 2 )^2 )$$

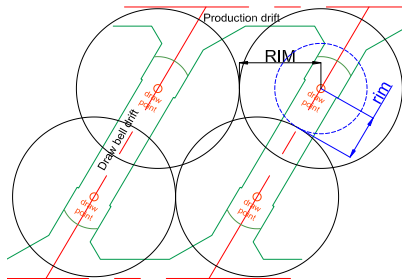
- **Distortion (DS)**: It is the relationship between the largest and the shortest distance between DP, measured in the direction of the Draw Bell Drift.



- $dpc$ : Distance between 2 draw points, measured in the direction of the production drift
- $Ap-m$ : Minor apex: Distance between 2 draw points, measured in the direction of the draw bell drift
- $Ap-M$ : Major apex: Distance between 2 draw points, measured in the direction of the draw bell drift crossing the production drift

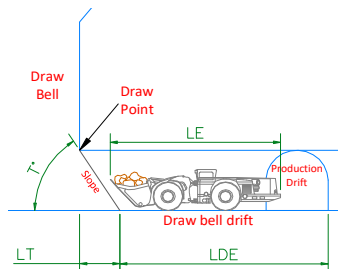
$$DS = Ap-M / Ap-m$$

- **Anisotropy (AN):** Relationship between the maximum radius of influence of a DP, relative to the minimum radius of influence of the same DP, the latter generated by the distance from the DP to the edge of the neighboring DP when there is an overlap of interaction areas.



$$AN = RIM / rim$$

- **Slack (H):** Relationship between the length available for LHD equipment operation, and the length of LHD equipment being evaluated.



$$H = LDE / LE$$

The comparison yields the following results:

Detail	[un]	Tte. MEx.	Mixed MEx
Density	[m <sup>2</sup> ]	340	340
Utilization	[%]	85,5%	89,2%
Sustentation	[%]	60,7%	61,8%
Maximum Light	[m]	20,8	16,2
Dilution	[%]	7,4%	3,4%
Distortion		1,51	0,90
Anisotropy		1,77	1,27
Slack		1,30	1,48

Table 4: Comparative Evaluation Geometry MEx

To comparatively evaluate the design aspects, a score will be established to each aspect to maintain an order of equivalent magnitude based on the evaluator's weight a rating is established.

- **Density:** Since designs are made over the same reference area, it is not considered in the Evaluation.
- **Utilization (Ap):** Greater value favors design. Will be used directly as a rating.

% Ap

- **Sustentation (S):** Greater value favors design. Will be used directly as a rating.

$$\% S$$

- **Dilution (DL):** Lower value favors design. Your rating will be considered as follows:

$$100 - \% DL$$

- **Distortion (DS):** Less value of its difference with the unit favors the design. Your rating will be considered as it follows:

$$100 - ABS ( 1 - DS )$$

- **Anisotropy (AN):** Less value of its difference with the unit favors the design. Your rating will be considered as it follows:

$$100 - ABS ( 1- AN )$$

- **Slack (H):** Greater value over the unit favors design in its operability (LHD). Your rating will be considered as it follows:

$$100 - 1 / (H - 1)$$

- **Maximum Light (L) (Le-Feaux 2020):** Lower value favors design (Stability). Your grade will consider the following form.

$$100 - L$$

A weighting criterion is established for each aspect that each designer will assign, and different assessments will be presented with different criteria, to observe if are there significant differences in the final grade (Table 5-3).

Considering that the Geometry of the ellipsoids could have diameters larger than those typically used in the design of MEx (Castro, Vargas, De la Huerta 2012), evaluation criteria of the MEx affected by this would be the following: Recovery or Utilization, Dilution Effect and Anisotropy.

It can be observed that the comparison between both MEx designs, like the effect of this increase in pull diameter tends to match the evaluations, but there is no case to impair the proposed mixed MEx design, as it's seen in the following tables: (5, 6 and 7)

Rating Tte. MEx	85,5	60,7	79,2	92,6	99,5	99,2	96,6	Evaluation	
Rating Mix. MEx	89,2	61,8	83,8	96,6	99,9	99,7	97,9	MEx	
Priority	AP	S	L	DL	DS	AN	H	Tte	Mix
Stability	15%	20%	20%	15%	10%	10%	10%	84,2	86,7
Production	20%	10%	10%	15%	10%	10%	25%	89,0	91,3
Geometry	15%	10%	10%	15%	20%	20%	10%	90,1	92,1
Operation	10%	15%	15%	10%	10%	10%	30%	87,6	89,8
Without priority	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	87,6	89,9

Table 5: Evaluation Comparison with different Priorities (DTI = 20 [m])

Rating Tte. MEx	99,1	60,7	79,2	75,1	99,5	97,7	96,6	Evaluation	
Rating Mix. MEx	98,8	61,8	83,8	74,7	99,9	99,0	97,9	MEx	
Priority	<b>AP</b>	<b>S</b>	<b>L</b>	<b>DL</b>	<b>DS</b>	<b>AN</b>	<b>H</b>	<b>Tte</b>	<b>Mix</b>
Stability	15%	20%	20%	15%	10%	10%	10%	83,5	84,8
Production	20%	10%	10%	15%	10%	10%	25%	88,9	89,9
Geometry	15%	10%	10%	15%	20%	20%	10%	89,2	90,1
Operation	10%	15%	15%	10%	10%	10%	30%	87,1	88,5
Without priority	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	86,8	88,0

Table 6: Effect on Evaluation according to different Priorities (DTI = 24 [m])

Rating Tte. MEx	100,0	60,7	79,2	70,7	99,5	90,0	96,6	Evaluation	
Rating Mix. MEx	100,0	61,8	83,8	61,2	99,9	95,8	97,9	MEx	
Priority	<b>AP</b>	<b>S</b>	<b>L</b>	<b>DL</b>	<b>DS</b>	<b>AN</b>	<b>H</b>	<b>Tte</b>	<b>Mix</b>
Stability	15%	20%	20%	15%	10%	10%	10%	82,2	82,7
Production	20%	10%	10%	15%	10%	10%	25%	87,7	87,8
Geometry	15%	10%	10%	15%	20%	20%	10%	87,2	87,7
Operation	10%	15%	15%	10%	10%	10%	30%	86,0	86,9
Without priority	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	85,2	85,8

Table 7: Effect on Evaluation according to different Priorities (DTI = 30 [m])

It is noted that the effect in the increase in ellipsoid pull diameter does not significantly affect the comparative evaluation of the design of MEx.

### 3.5 Estimation of Construction Costs

Data from Le-Feaux (2019-2020) was used due to cost information is sensitive to companies running construction sites, and since this study has been conducted without business sponsorship. The references comparison between construction costs of the designs, and establish whether relevant differences are generated among them, resulting the cost associated with the construction of the Mixed MEx being 5% cheaper than Teniente MEx, mainly due to the decrease in horizontal excavations and the requirement of pavements (access to the DP is shorter).

### 3.6 Works program

The constructability criteria obtained from different documents allusive to project construction programs, in which the author has participated, data duly authorized was used (Le-Feaux, 2012A, 2012B, 2012C), to stablish comparison between programs of the design works of Teniente MEx against the Mixed MEx,

Detail	[un]	Tte.	Mixed	[un]
Production Drift	[m]	53.8	53.8	[m/month]
DP Access	[m]	53.8	53.8	[m/month]
Draw Bell Drift	[m]	61	61	[m/month]
Excavation	[m <sup>3</sup> ]	704	704	[m <sup>3</sup> /month]
Intersections	[un]	17.1	15	[un/month]
DP Construction	[un]	6.5	6.5	[un/month]
Contention wall	[m]	93.6	93.6	[m/month]
Pavement	[m <sup>3</sup> ]	126.8	126.8	[m <sup>3</sup> /month]
Draw bell Pilot	[m]	3.53	3.53	[un/month]
Drilling Draw bell Step 1	[un]	12	12	[un/month]
Drilling Draw bell Step 2	[un]	40	40	[un/month]
Draw bell Excavation	[un]	10	10	[un/month]

Table 8: Construction Performance

Based on the yields considered, the following schedule of development is obtained:

Item	Total	[un]	Month 1	Month 2	Month 3	Month 4	Month 5	Month 6	Month 7	Month 8	Month 9	Month 10	Month 11	Month 12	Month 13	Month 14	Month 15	Month 16	Month 17	Month 18
Excavation	537,2	[m]	48	50	50	50	54	50	50	50	50	50	34							
Cables enforcement	10,0	[un]					1	1	1	1	1	1	1	1	1					
DP Construction	20,0	[un]						2	2	2	2	2	2	2	2	2				
Contention walls	468,2	[m]						47	47	47	47	47	47	47	47	47				
Pavements	361,6	[m <sup>3</sup> ]										81	100			81	100			
Draw bells Pilot	10,0	[m <sup>3</sup> ]											2	3			2	3		
Draw bells	10,0	[m <sup>3</sup> ]																	5	5

Table 9: Monthly Work Schedule Teniente MEX

Item	Total	[un]	Month 1	Month 2	Month 3	Month 4	Month 5	Month 6	Month 7	Month 8	Month 9	Month 10	Month 11	Month 12	Month 13	Month 14	Month 15	Month 16	Month 17	Month 18
Excavation	492,0	[m]	44	53	42	47	45	49	46	46	46	45	29							
Cables enforcement	10,0	[un]					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
DP Construction	20,0	[un]						2	2	2	2	2	2	2	2	2				
Contention walls	340,4	[m]						34	34	34	34	34	34	34	34	34	34			
Pavements	334,8	[m <sup>3</sup> ]										75	92			75	92			
Draw bells Pilot	10,0	[m <sup>3</sup> ]											2	3			2	3		
Draw bells	10,0	[m <sup>3</sup> ]																	5	5

Table 10: Monthly Work Schedule Mixed MEX

### 3.7 Comparative Analysis between MEX Designs

A comparative analysis is performed between the two designs, to establish the advantages and disadvantages observed on each design. While this analysis does NOT establish a numerical comparison between the two designs, it allows to visualize the aspects that might be of interest to delve the further into research of the proposed design.

Item	Evaluation Teniente MEX	Evaluation Mixed MEX
LHD Size	Limits its design by LHD size. DP location within the Draw Bell Drift (DBD) is defined by the dimensions of the equipment.	It allows the use of any LHD equipment, which complies with being able to travel through the Production Drift (PD). To load you do not need to enter the DP, it only requires a proper break for access.
Maneuvering time in DP	LHD must be accommodated when entering the DP, resulting in a maneuvering time in the cycle.	It only requires changing the transit direction, without entering the DP, the maneuvering time is shorter.
Energy for material extraction	The LHD faces the slope and requires more energy to remove the material penetrating the base of the mineral column and spooning under it.	The LHD cuts the slope laterally, it is estimated that the energy required to charge would be less than charging head-on.

Operator's exposure and LHD	The operator is exposed to material slippage from the DP when facing the slope.	The only exposed part of the LHD to slippage is the front, bucket, and front axle.
Extraction Ellipsoid Interaction	By defining a distance required for the LHD to drive on the DP, it forces the DP to move the faced DP, making it difficult to interact between their ellipsoids over the Crown Pillar.	DP being close to the Production Drift and alternated facilitates interaction between them over the Crown Pillar, reducing the dead load on the Crown Pillar. Areas where there is no interaction between ellipsoids are on the pillars between DBD.
Draw bell design	Design features require designing asymmetric draw bells and being closer to the DP belonging to the draw bell decreases the area of receipt of the material, which could favor hanging events, relative to a larger area at the base of the draw bell.	The design allows the application of designs for symmetrical draw bells, facilitating their construction. In addition, such draw bells are larger at their base, so you should improve the condition to avoid or decrease the frequency of hangers in DP.
Stability at intersection	Important light is generated at the intersection of PD with DBD because they intersect each other, and excavations must be enabled in the corners of the pillars that allow the LHDs (high-speed curves) to be maneuvered. The geometry of the abutment with sharp tips makes it have a smaller effective resistance area.	When alternating DP are available, no intersections are generated, gallery splices are formed, which is much more stable, since a smaller exposed light is generated. In addition, the excavations required to enable high-speed curves are smaller, and the rectangular pillars, allowing for a larger effective area of the solid pillar.
Operability in Construction	Drifts in a crossing arrangement, seems to be better for operability in construction, since straight sections are traveled. However, depending on the direction in which it is transited, maneuvers to change traffic from a PD to a DBD may be more complicated when it is required to turn in one of the sharp corners of the pillar, making maneuvering difficult or requires a higher volume of breakage to generate a simpler turn. Since the equipment used in construction is smaller, this does not have problems.	The fact that DBD are alternated (not aligned) should create a difficulty in transiting through them, as long as they are used as access. However, steering change maneuvers from a PD to a DBD should not be in trouble, as it is a splice, and being at 90 degrees the maneuver should be done more slowly only, but this would occur when transiting in both directions through the PD.
Conditions of operability in production	LHDs must change direction of transit in order to access all DP, forcing the equipment to load for a while in one direction and then move to some investment pediment to make the change and thus load into the DP that it did not previously have access to. If the investment pediment is close, this does not have problems since it could make the investment maneuver by going to unload on one of the opportunities, but as it moves away from this pediment the maneuver becomes increasingly deer affecting the cycle.	LHDs do not need to change direction to access DP, as the splice is symmetrical at each draw point. This means that the cycle has no effects from moving to investment points for LHD's, being able to achieve better productivity rates.
Cleaning up access to DP	It is estimated that, being the DP furthest from the Production Drift, the effect of spills by load and slippage of the material, should be more controlled. However, it is estimated that the filling factor (point to be analyzed below), should be higher and this will encourage the drop of material during transit through the PD.	As the slope is closer to the PD, and in addition, that the LHD equipment loads the slope on the side, a greater amount of material spilled in the vicinity of the DP is expected, which should be compensated when reversing the direction of transit of the equipment. Cleaning the area is considered as part of the operation, but in this case, it may be needed more frequently.
LHD filling factor	For the same granulometry to face the slope allows a greater filling factor.	Loading on the slope side could decrease the filling factor, since it will depend on the Geometry of the slope, the one that the bucket can penetrate 100% into the material to be loaded, and always one part of the bucket will have less exposure to the slope than the other.
Facilities for construction works and deadlines	Given the experience in the construction of this design, it is estimated that constructability conditions may be more favorable, however, when performing the analysis in the construction of a reference module, it was seen that there are no relevant differences in construction times.	Design conditions suggest that there should be no major differences in this aspect, as there are no major complications for construction activities constructively. When performing the analysis in the construction of a reference module, it could be seen that there are no significant differences in construction times.
Construction costs	Considering a greater number of works of this design (excavations and enforcement), it is estimated that the construction costs should be higher. However, with the background used it is observed that there are minor differences in this aspect.	The lowest volume of works required (between 8% and 23% depending on the item of works), it is estimated that the overall construction costs will be lower. However, with the background used it is observed that there are minor differences in this aspect.

Flow modification	Tacking the slope should ensure that the Geometry of the flow over the DP is symmetrical, so it is expected that there will be no variations in the flow.	It is estimated that this variation would not be significant and could be compensated by alternating the extraction on one side and the other (a number of shovels extracted from one direction of the PD and another equal on the other). Another important aspect in this case is the Geometry of the DP ceiling, as the flow deformation could be favored in a square section of the ceiling on the DP, which could be compensated by having a semicircular section.
Proved design	It will always be a guarantee of success, counting and building a proven design, and in this sense are years of use of this design.	While this design has not been tested, it has advantages that could justify its application, or at least a greater analysis of its effects.
Use of electrical equipment	Need to reverse the equipment to access all DP, there are difficulties in the use of electrical equipment with cables. However, for battery-powered equipment or trolley it should not cause problems in its operation.	In the case of electrical equipment with cables, this design presents the advantage that can be used without problems by not requiring the investment of the equipment in its operation.
Autonomous or Semi-Autonomous Operating Systems	By requiring equipment to be reversed and maneuvered in the DP, it becomes less easy to apply automation systems, however, today they are used.	The lower requirement for maneuvers in the DP, facilitates the application of remote and autonomous operating systems, in addition to the fact that it does not require investing the equipment.
Secondary Reduction Operation	The more remote DP from the PD allows secondary reduction activities with less exposure to the infrastructure associated with the PD.	As DP is closer to PD, the damage associated with secondary reduction could be greater.
DP pick up Operation	The more remote DP from the PD allows for de-return activities with less exposure of the infrastructure associated with the PD.	As the DP is closer to DP, the off-hook operation is closer to the PD which could lead to interference or increased need for resources to clean the PD once the DP is released.

Table 11: Comparative analysis between MEx designs

## Conclusions

It is concluded that the design proposal for a new MEx generates various design and operation benefits, from the point of view that it was compared to the Teniente type design.

It is observed that the proposed design, increases its works only by the number of cables in the enforcement of the splice of Production Drifts and of Draw Bell Drift, value that was obtained from a very thick estimate, since, to define the real size of this type of enforcement it is necessary to make a detailed analysis of the Stability conditions of the area. The overall condition of the design (lower on load over Production Drifts) may require less robustness of enforcement.

In addition, there is a slight decrease in the cost of construction based on the reference costs used. However, it is estimated that, by presenting a better stability condition the costs associated with enforcement may be lower than estimated.

In all aspects of the design the Mixed MEx shows better indicators than Teniente MEx, covering the same productive area. It could be observed that the effect of increasing the pull diameter generates some changes in the evaluations of both designs, but in no case it has overall harmed mixed MEx's proposed design.

Regarding to the program of works there are no differences in the temporary distribution of works, although the quantities (volumes of works) are different. The interdependence of the construction and enablement activities of works in this type of exploitation does not make it possible to take advantage of those differences in a remarkable way. According to above, the relevant thing about the result is that the construction of the proposed design (Mixed MEx) does not generate a longer time for its construction compared to the design

of Teniente Mex. It can be concluded that they are equivalent, and in the face of a smaller number of works is cheaper from a constructive point of view. In addition, it is estimated that, for a larger area to be built there could be some more significant differences in construction times. One of the advantages that could be observed is that, by requiring fewer works, and maintaining deadlines a small slack would be generated in the construction, which reduces the risk of non-compliance with construction programs.

Of the comparatively evaluated aspects, most of them offer better expectations than Teniente MEX and could even be improvable in one or the other aspect evaluated.

The only relevant aspect against the proposed design is that there is no experience in its construction or operation, however, the analysis carried out makes it possible to recommend that it could be subjected to more detailed and rigorous studies to support a pilot test at an industrial level.

The design offers an interesting alternative to designs currently used in mining, both, as a design itself and as a concept of operation, so advances should be made in studies that allow it to be validated on an industrial scale.

The design should improve some aspects that allow to reach a quantitative Evaluation of them, through field analysis, industrial tests and / or certified simulations of their effects on the design. These aspects are: The condition of cleaning access to DP, LHD bucket filling factor, Flow modification, Proven design, Secondary Reduction Operation and Hanging and release on DP.

Considering the above is recommended:

- Conduct Stability tests in the laboratory or/with numerical systems of Mixed MEX's proposed design, in order to confirm that it is effectively more stable than Teniente MEX's design.
- Repeat these studies for different conditions of use in different areas (projects), to establish in which cases it would be advisable to apply it, and even be able to define a sector to do industrial design testing.
- As far as possible, incorporate to the discussion of this design, operators; teleoperators and equipment suppliers, so that more operations and manufacturing aspects of LHD equipment are identified, which could improve the design or identify problems to be solved.
- This design proposal should also be analyzed together with designers of autonomous and semi-autonomous systems of productive operation, to identify the advantages and disadvantages offered by the design to their systems.
- Those involved in activities complementary to the operation of LHD equipment, can also identify the aspects of operations that may be affected by this design (secondary reduction, draw bells, draw point construction, cleaning, infrastructure maintainability, etc.).
- Carry out performance tests of the equipment associated with this design, which allow to detect advantages and disadvantages operations that affect their execution, as well as the working conditions that would influence the indicators of maintainability and mechanical availability of them.
- Finally, laboratory tests are recommended to determine the effect on the flow of ore that the side-loading of the slope might have. These tests should be considered with straight roof sections, also with semicircular roof, since a semicircular geometry



should act as a centralizer of the flow, so that a preferential pull may not be generated. As well as, consideration should be given to the effect that granulometry would have in this matter, since fine material would not behave in the same way as the thick material.