

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



INFORME DE TRABAJO PROFESIONAL

**“FACTORES REPRESENTATIVOS EN LOS MÉTODOS DE
EXPLOTACIÓN DE LA UNIDAD MINERA SAN RAFAEL –
MINSUR S.A.”**

PRESENTADO POR:

Bach. CCOTO MAMANI, ABEL PLÁCIDO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS
INFORME DE TRABAJO PROFESIONAL

**“FACTORES REPRESENTATIVOS EN LOS MÉTODOS DE
EXPLOTACIÓN DE LA UNIDAD MINERA
SAN RAFAEL – MINSUR S.A.”**

PRESENTADO POR:

Bach. CCOTO MAMANI, ABEL PLÁCIDO

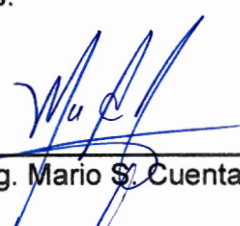
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO EN MINAS


A la Dirección de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, como requisito para optar el Título de Ingeniero de Minas.

APROBADA POR:

PRESIDENTE:


M.Sc Ing. Mario S. Cuentas Alvarado

PRIMER MIEMBRO:


M.Sc Ing. Americo Arizaca Avalos

SEGUNDO MIEMBRO:


M.Sc Ing. Lucio Quea Gutierrez

2018

DEDICATORIA

A Dios por todas sus bendiciones
que me dio a lo largo de mi vida.

Con mucho cariño y orgullo a
mis padres por su paciencia,
esfuerzo y sabios consejos
dedicado incondicionalmente
a mi persona.

A mis familiares, amigos y a todas
las personas que me apoyaron en
todo momento y que contribuyeron
en mi formación.

Con afecto y mucho respeto.

Abel Ccoto

AGRADECIMIENTO

Con mucha gratitud, expreso mis agradecimientos a la Facultad de ingeniería de minas de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, docentes y compañeros; quienes me guiaron y contribuyeron a lo largo de mi formación académica.

Agradezco a las empresas San Rafael MINSUR S.A. y EPCM Expert S.A.C. quienes confiaron en mi persona, incorporándome a ser parte de una gran familia minera exitosa. A los ingenieros de San Rafael quienes día a día me enseñan el liderazgo y a continuar conquistando mayores logros; desarrollándome así como persona y profesionalmente. Del mismo modo mi agradecimiento a todos los trabajadores mineros que pude conocer y con quienes compartí muchas experiencias favorables.

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado:

El suscrito egresado y bachiller de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano, ha laborado en diferentes empresas mineras de nuestro país; por lo que me permito presentar a vuestra consideración el presente informe de trabajo profesional, titulado: “FACTORES REPRESENTATIVOS EN LOS MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN DE LA UNIDAD MINERA SAN RAFAEL – MINSUR S.A.” realizado en la empresa ya indicada, con la finalidad de optar el título profesional de ingeniero de minas, en cumplimiento del reglamento de grados y títulos de la Universidad Nacional del Altiplano.

El motivo fundamental que me animó a realizar el presente trabajo es que tengo participación en el área de productividad de la Unidad Minera San Rafael, en el cual se vienen realizando varias oportunidades de mejora respecto a los métodos de explotación como: El sistema operativo, servicios mina, ventilación, transporte, acarreo, infraestructura, geomecánica, avances lineales, explotación y relleno en pasta. Tales parámetros se asumen para seguir investigando y renovando nuevos criterios de ejecución; lo cual, pongo a consideración de los señores miembros del jurado.

Puno, Setiembre del 2018

Ccoto Mamani, Abel Plácido

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
PRESENTACIÓN.....	iv
ÍNDICE.....	v
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
PRIMERA PARTE.....	1
REPORTE DE ACTIVIDAD PROFESIONAL	1
SEGUNDA PARTE	5
DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD PROFESIONAL.....	5

CAPÍTULO I**ASPECTOS GENERALES**

1.1 Introducción	5
1.2 Problemas del estudio	7
1.2.1 Problema general	7
1.2.2 Problemas específicos	7
1.3 Objetivo general y específico.....	7
1.3.1 Objetivo general	7
1.3.2 Objetivo específico	7
1.4 Antecedentes.....	8
1.5 Aspectos generales	8
1.5.1 Ubicación y accesibilidad.	8
1.5.2 Componentes mineros	9
1.5.3 Concesión	10
1.5.4 Fuerza laboral	11
1.6 Geología	12
1.6.1 Generalidades y estudios realizados.....	12

1.6.2 Geología regional	12
1.6.3 Geología económica y mineralizada.....	13
1.7 Proceso productivo del mineral	14

CAPÍTULO II

MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

2.1 Operaciones mina.....	17
2.2 Plan de minado.....	18
2.3 Plan de avances en desarrollos, preparación y exploración	19
2.4 Presupuesto opex.....	19
2.5 Geomecánica	20
2.5.1 Aspectos generales	20
2.5.2 Hidrogeología	20
2.5.3 Geo-estructuras.....	20
2.5.4 Fallas.....	22
2.5.5 Discontinuidades	22
2.5.6 Dimensionamiento de tajos de producción.....	22
2.5.7 Sostenimiento de tajos de producción con cable bolting	25
2.5.8 Tipos de sostenimiento en la mina	26
2.6 Gran cavidad	26
2.7 Métodos de explotación.....	28
2.7.1 Sub level stoping transversal (SLST)	29
2.7.2 Sub level stoping longitudinal (SLSL).....	30
2.7.3 Sub-level open stoping (SLOS)	32
2.7.4 Bench and fill stoping	33
2.7.5 Cut and fill stoping (CAF)	34
2.7.6 Shrinkage stoping (SHRK)	36
2.8 Servicios complementarios básicos.....	37
2.8.1 Instalación de tolva metálica	37

2.8.2	Instalación de parrilla mecanizada con elementos	37
2.8.3	Construcción de parapeto mecanizado	37
2.8.4	Construcción de muro ciclópeo	37

CAPÍTULO III

APLICACIÓN Y RESULTADOS

3.1	Descripción de fases en la operación minera de la Unidad Minera San Rafael	41
3.1.1	Exploración.....	41
3.1.2	Desarrollo	41
3.1.3	Preparación	42
3.1.4	Explotación.....	42
3.1.5	Tipos y diseño de labores mineras	42
3.1.5.1	Rampa de acceso	42
3.1.5.2	Bypass	42
3.1.5.3	Accesos.....	42
3.1.5.4	Chimeneas slot	43
3.1.5.5	Galería y subnivel	43
3.2	Ciclo de minado.....	43
3.2.1	Perforación	45
3.2.2	Voladura de taladros largos.....	46
3.2.3	Desatado	47
3.2.4	Acarreo de mineral y/o desmonte.....	47
3.2.5	Sostenimiento.....	47
3.2.6	Extracción de mineral y/o desmonte.....	48
3.2.7	Relleno en pasta y/o detrítico	48
3.3	Ventilación	49
3.3.1	Requerimiento de airea del circuito de ventilación	49
3.3.2	Resumen de ingreso de aires fresco del sistema de ventilación	50
3.3.3	Cobertura actual del sistema de ventilación	50
3.3.4	Plan de mejoramiento del sistema de ventilación.....	50

3.4 Costos de la Unidad Minera San Rafael.....	51
3.5 Geomecánica	51
3.5.1 Propiedades del macizo rocoso	52
3.5.2 Dimensiones de tajos	53
3.5.3 Evaluación de dimensiones.....	54
3.6 Selección del método de minado.....	56
3.7 Estimación de reservas	57
3.8 Cálculo de la utilidad operativa y análisis comparativo.....	57
3.8.1 Análisis comparativo – escenario inicial	58
3.8.2 Análisis de sensibilidad – escenario adicional.....	61
CONCLUSIONES.....	63
RECOMENDACIONES	64
BIBLIOGRAFÍA.....	65
ANEXOS	66

FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la mina San Rafael.....	9
Figura 2: Ubicación de componentes mineros.....	10
Figura 3: Sección longitudinal de la veta San Rafael.....	14
Figura 4: Geología del yacimiento.....	15
Figura 5: Ubicación de las canchas de mineral y desmonte.....	16
Figura 6: Vista longitudinal compuesta al oeste de las reservas 2017.....	18
Figura 7: Vista transversal mirando al noroeste.....	21
Figura 8: Sostenimiento típico para tajos con buzamiento menor a 50°.....	25
Figura 9: Diseño de c. bolting tajo 3750-2050 Vicente.....	25
Figura 10: Levantamiento topográfico de la gran cavidad.....	27
Figura 11: Vista longitudinal de la gran cavidad dimensionada.....	28
Figura 12: Esquema de secuencia de minado en “sub level stoping”.....	29
Figura 13: Diseño tipo del método sub-level stoping longitudinal (SLS).....	30
Figura 14: Esquema de métodos de minado “sub level stoping”.....	31
Figura 15: Esquema de métodos de minado “sub level open stoping”.....	32
Figura 16: Diseño Conceptual bench and fill.....	33
Figura 17: Esquematiza el método de minado “Bench and Fill Stoping”.....	34
Figura 18: Diseño conceptual cut and fill.....	35
Figura 19: Diseño conceptual shrinkage stoping (SHRK).....	36
Figura 20: Construcción de muro ciclópeo rígido.....	38
Figura 21: Construcción de muro ciclópeo con ventana.....	38
Figura 22: Construcción de muro ciclópeo con puerta.....	39

Figura 23: Vista longitudinal de las vetas en San Rafael	41
Figura 24: Ciclo de minado Unidad Minera San Rafael	44
Figura 25: Equipo de perforación de taladros largos	45
Figura 26: Ciclo del proceso de perforación de taladros largos	46
Figura 27: Resumen de valores promedios en RMR para cada veta.....	52

TABLAS

Tabla 1: Fuerza laboral mina San Rafael	11
Tabla 2: Estudios realizados en la mina San Rafael	12
Tabla 3: Resumen de producción mina San Rafael	18
Tabla 4: Resumen de Avances Mina San Rafael	19
Tabla 5: Resumen OPEX mina San Rafael.....	20
Tabla 6: Características físicas de los sistemas de familias predominantes	22
Tabla 7: Dimensionamiento de tajos para “Sub Level Stoping”	23
Tabla 8: Dimensionamiento de tajos para “Bench and Fill Stoping	24
Tabla 9: Comparación de parámetros de sostenimiento versus secciones de avance	26
Tabla 10: Requerimiento de aire mina – año 2018.....	49
Tabla 11: Ingreso de aire fresco.....	50
Tabla 12: Cobertura de requerimiento de aire.....	50
Tabla 13: Tabla de costos de la Unidad San Rafael	51
Tabla 14: Propiedades generales de la roca intacta y del macizo rocoso...	53
Tabla 15: Orientación estructuras y cajas de tajos para factor ajuste por estructuras	54
Tabla 16: Factores de ajuste para N´ (tajos longitudinales) estables sin soporte.....	55
Tabla 17: Aberturas máximas de tajos aislados (longitudinales) estables sin soporte.....	55
Tabla 18: Aberturas máximas de tajos SLS (longitudinales) estables sin soporte.....	55

Tabla 19: Factores de ajuste para N´ (tajos transversales).....	56
Tabla 20: Aberturas máximas de tajos primarios (transversales) estables sin soporte.....	56
Tabla 21: Métodos de minado en relación a las condiciones de terreno.....	56
Tabla 22: Asignación de métodos por veta y zona para comparación	57
Tabla 23: Reservas calculadas por MINSUR	57
Tabla 24: Parámetros económicos de venta de estaño	58
Tabla 25: Parámetros económicos disgregados	58
Tabla 26: Distribución porcentual de métodos de minado - Escenario inicial	59
Tabla 27: Plan LOM con reservas calculadas en MINSUR – Línea base escenario inicial	59
Tabla 28: Plan LOM con nuevos métodos de minado – Escenario inicial ...	60
Tabla 29: Sensibilidad valor actual neto tasa y precio variable – escenario adicional caso base + recursos inferidos	61
Tabla 30: Sensibilidad valor actual neto tasa y precio variable – escenario adicional caso métodos alternativos + recursos inferidos	61

RESUMEN

La Unidad Minera San Rafael de Minsur S.A. tiene programado una producción de 2,950 TM de mineral/día para el año 2018, con leyes promedio de 1.70 % Sn, esta producción será tratada en la planta de beneficio de San Rafael; la producción proviene de las estructuras (Eliana, Carmen, Jorge, Mariano, Kimberly, San Rafael 34 y otros). La explotación de la mina se realizará a través de los métodos Bench and Fill (taladros largos) y Sub Level Stoping Transversal y Longitudinal (taladros largos), Sub Level Open Stoping, Shrinkage Stoping y Cut and Fill Stoping. Se tiene varias alternativas de minado; por lo cual el propósito del presente trabajo es de seleccionar la o las alternativas más adecuadas de minado que logren el mayor beneficio económico a la mina, con adecuados estándares de seguridad y medio ambiente. En el presente informe elaboró un listado genérico de métodos de minado los cuales fueron calificados y depurados de manera cualitativa, considerando las características particulares de cada zona de minado como continuidad, potencia de estructura y buzamiento entre otros. Así también, detallar el ciclo de minado de los métodos de explotación desarrollados en la Unidad Minera San Rafael; considerando la capacidad del objetivo de producción de mina, como se viene manejando en la actualidad. Los planes LOM correspondientes a los métodos de minado alternativos fueron analizados aplicando sus parámetros individuales de toneladas y ley de mineral así como costos de producción en los métodos de minado; considerando el precio del estaño de 22,000 US\$/TMF. Dando una comodidad para el ciclo de minado, no obstante se tiene programado 22,192.00 m en desarrollo, exploración y preparación para el año 2018, esto para mantener las reservas de producción.

Palabras Claves: Bench and Fill, Sub Level Stoping Transversal, Sub Level Stoping Longitudinal, métodos y estructuras.

ABSTRACT

The San Rafael Mine Unit of Minsur S.A. has a production program of 2,950 MT of ore / day for the year 2018, with average grades of 1.70% Sn, this production will be treated at the San Rafael beneficiation plant; The production comes from the structures (Eliana, Carmen, Jorge, Mariano, Kimberly, San Rafael 34 and others). The exploitation of the mine was carried out through the methods Bench and Fill (long drills) and Sub Level Stopping Transversal and Longitudinal (long drills), Sub Level Open Stopping, Shrinkage Stopping and Cut and Fill Stopping. You have several mining alternatives; in the sense that it is about selecting the workplace. In the present report, a generic list of mining methods was prepared, which were qualified and purified in a qualitative manner, the particular characteristics of each mining area such as continuity, the power of the structure and the dip among others. Also, to detail the mining cycle of the mining methods in the San Rafael Mining Unit; The capacity of the production objective of the mine. The LOM planes correspond to the alternative mining methods. The price of tin is US \$ 22,000 / TMF. There is no need to program 22,192.00 m in development, exploration and preparation, for the year 2018, to maintain production reserves.

Keywords: Bench and Fill, Sub Level Stopping Transversal, Sub Level Stopping Longitudinal, methods and structures.

PRIMERA PARTE

REPORTE DE ACTIVIDAD PROFESIONAL

- Centro de trabajo** : Unidad Minera San Rafael.
- Empleador** : Compañía Minera MINSUR S.A.
- Cargo desempeñado** : Productividad mina.
- Periodo** : Del 15 de febrero 2017 a la actualidad 2018.
- Funciones** : Se detalla a continuación.
- Responsable de la elaboración y seguimiento al cumplimiento de indicadores KPI's de los procesos en mina para proponer iniciativas de mejora.
 - Encargado de elaboración del Budget / Forecast mina (Capex-Opex).
 - Encargado del control de costos y la interrelación con los procesos mina para creación de valor.
 - Seguimiento al cumplimiento de los planes de minado mediante el modelo de adherencia.

- Responsable de la ejecución del sistema integrado de gestión mina, auditorías (internas y externas) y múltiples fiscalizaciones.
- Integrante del equipo de MINSUR para ejecución del proyecto “San Rafael Full Potencial” con la consultora MCKINSEY.
- Elaborar el plan de trabajo diario y semanal, establecer prioridades y permaneciendo en coordinación con equipo de trabajo.

Centro de trabajo	: Unidad Minera Sillustani.
Empleador	: Representaciones y servicios Grupo Olímpico E.I.R.L.
Cargo desempeñado	: Supervisor de obra.
Periodo	: Del 01 noviembre 2016 hasta el 31 de enero 2017.
Funciones	: Se detalla a continuación. <ul style="list-style-type: none"> • Responsable del cumplimiento de objetivos planteados por la organización, de acuerdo con los programas diarios, semanales y mensuales. • Encargado de la gestión y controles de los servicios de manipuleo de testigos geológicos provenientes de diferentes taladros diamantinos del proyecto. • Responsable del seguimiento al cumplimiento de metas de la organización minera.
Centro de trabajo	: Unidad Minera San Rafael.
Empleador	: Compañía Minera MINSUR S.A.
Cargo desempeñado	: Practicante profesional de mina.

Periodo : Del 14 setiembre 2015 hasta el 13 de setiembre 2016.

Funciones : Se detalla a continuación.

- Elaboración de mejoras en el área de perforación y voladura.
- Optimización de tiempos operacionales productivos.
- Aplicación de proyectos con el fin de maximizar la producción, esto considerando los parámetros de restricciones operacionales.
- Maximizar las oportunidades de mejora en la producción de corto y mediano plazo.
- Generar mayores alternativas respecto a la receta del relleno en pasta de los diferentes tajos de producción.
- Identificar tiempos de demoras operativas en el acarreo, transporte y sostenimiento; y proponer alternativas para aumentar la producción.

Centro de trabajo : Unidad Minera San Rafael.

Empleador : Contrata especializada EPCM Experts S.A.C.

Cargo desempeñado : Asistente de planeamiento

Periodo : Del 01 enero 2015 hasta el 12 de setiembre 2015.

Funciones : Se detalla a continuación.

- Planificación y ejecución de los servicios auxiliares en interior mina, esto durante todo el ciclo de minado.

- Aumento de la productividad de trabajos en servicios auxiliares en interior mina.
- Planificación de trabajos en ventilación, cable bolting, mantenimiento de vías, preparación de barreras, trabajos de infraestructura y otros de servicio múltiples.
- Valorizaciones de los diferentes trabajos de servicios en mina, según precios unitarios o por laboreo minero.

SEGUNDA PARTE

DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD PROFESIONAL

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción

La Unidad Minera San Rafael MINSUR S.A. propiedad del grupo Brecia, la cual es la única compañía minera en el país dedicado a la extracción y exportación de estaño; se ubica a la fecha como el segundo productor mundial después de la China con el 16% de la producción mundial; con un proceso altamente tecnológico que incide en el manejo ambiental responsable, consciente del entorno en que se desenvuelve su actividad y con una innovadora política de responsabilidad social.

En la Unidad Minera indicada, se tiene varias alternativas de minado; por lo cual el propósito del presente trabajo es de seleccionar la o las alternativas más adecuadas de minado que logren el mayor beneficio económico a la mina, con adecuados estándares de seguridad y medio ambiente.

En el presente informe elaboró un listado genérico de métodos de minado los cuales fueron calificados y depurados de manera cualitativa, considerando las características particulares de cada zona de minado

como continuidad, potencia de estructura y buzamiento entre otros. Indicó de esta manera que los métodos a ser considerados en un proceso descriptivo y comparativo en una línea base son: sub level stoping longitudinal, sub level stoping transversal, sub level open stoping, bench and fill, shrinkage stoping y cut and fill stoping.

Así también, detallar el ciclo de minado de los métodos de explotación desarrollados en la Unidad Minera San Rafael; considerando la capacidad de objetivo de producción de mina en 2,950 t/d como se viene manejando en la actualidad.

Se ha elaborado los escenarios de análisis de parámetros y al empleo de las reservas probadas y probables; así también se considera los recursos inferidos los cuales han seguido un proceso de estimación similar al ser empleado para el cálculo de reservas con el propósito de estimar dichos recursos con características minables, considerando todo el potencial del yacimiento conocido de la estimación.

En los cálculos de reservas se ha considerado un factor del 15% como objetivo de reducción del total de dilución, el cual se ha venido mejorando el resultado de un 25% que se tenía como valor base.

Teniendo como referencia la secuencia de minado seguida anteriormente en la Unidad Minera San Rafael del desarrollo del plan LOM exclusivamente para reservas; en donde se desarrolla alternativas de escenarios de LOM, como reservas con dilución estadística y los métodos de minado alternativos, a fin de comparar los resultados del modelo económico.

Los planes LOM correspondientes a los métodos de minado alternativos fueron analizados aplicando sus parámetros individuales de toneladas y ley de mineral así como costos de producción en los métodos de minado de la Unidad Minera San Rafael.

1.2 Problemas del estudio

1.2.1 Problema general

En la Unidad Minera San Rafael se tiene inconvenientes al momento de elegir un método de minado que sea técnica y económicamente rentable; esto para ser empleados en las diferentes estructuras operacionales subterráneas de San Rafael; considerando como prioridad la seguridad, productividad y el cuidado del medio ambiente.

1.2.2 Problemas específicos

- El problema radica en maximizar los detalles del ciclo de minado (perforación, voladura, acarreo, sostenimiento, transporte y relleno) en los diferentes métodos de explotación aplicados a taladros largos, buscando identificar así las demoras operativas en cada proceso.
- Requerimiento de la descripción y comparación de métodos de explotación, considerando los distintos tipos de estructuras y zonas de yacimiento de la Unidad Minera San Rafael; buscando el método que genere mejor valor económico para la operación minera.

1.3 Objetivo general y específico

1.3.1 Objetivo general

Evaluar de una manera técnica y económicamente rentable los métodos de minado en la Unidad Minera San Rafael; esto para ser empleados en las diferentes estructuras operacionales subterráneas de San Rafael; buscando una mejora continua en la parte operativa, seguridad y en el cuidado del medio ambiente.

1.3.2 Objetivo específico

- Detallar el ciclo de minado (perforación, voladura, acarreo, sostenimiento, transporte y relleno) en los diferentes métodos

de explotación para taladros largos, identificando así las demoras operativas en cada proceso.

- Describir y comparar los métodos de explotación, considerando los distintos tipos de estructuras y zonas de yacimiento de la Unidad Minera San Rafael; identificando así el método que genere mejor valor económico para la operación minera.

1.4 Antecedentes

La Unidad Minera San Rafael de la compañía Minsur S.A. en sus inicios fue productora de cobre en la zona alta y de estaño como subproducto, ahora en la actualidad y en profundidad es la única mina productora de estaño en el Perú.

La explotación de la mina se realizará a través de los métodos sub level stoping longitudinal, sub level stoping transversal, sub level open stoping, bench and fill, shrinkage stoping y cut and fill stoping, los cuales a medida que se van ejecutando van habiendo restricciones y por ende resultados diferentes debido a la elección de que método de minado se empleara. Cabe mencionar que anteriormente se realizaba el método de explotación de shrinkage stoping y sub level stoping, quedando como resultado una gran cavidad por no realizarse el relleno (Nv 4450-4533); en la actualidad (2018) este vacío ya se rellenó con detrítico y con pasta. Cabe mencionar que la Unidad Minera San Rafael Minsur S.A. cuenta con un excepcional grupo de profesionales y personal técnico que han permitido alcanzar un lugar privilegiado en el contexto de la minería; contando así con la trinorma ISO 9001, ISO 14001 y la OSHA 18001.

1.5 Aspectos generales

1.5.1 Ubicación y accesibilidad.

La mina San Rafael, propiedad de Minsur S.A., está ubicada en el departamento de Puno, provincia de Melgar, distrito de Antauta, en el nevado de Quenamari de la Cordillera de Carabaya, siendo esta un segmento de la cordillera oriental de los Andes, a una altitud de 4,500 m.s.n.m.

Figura 1: Ubicación de la mina San Rafael



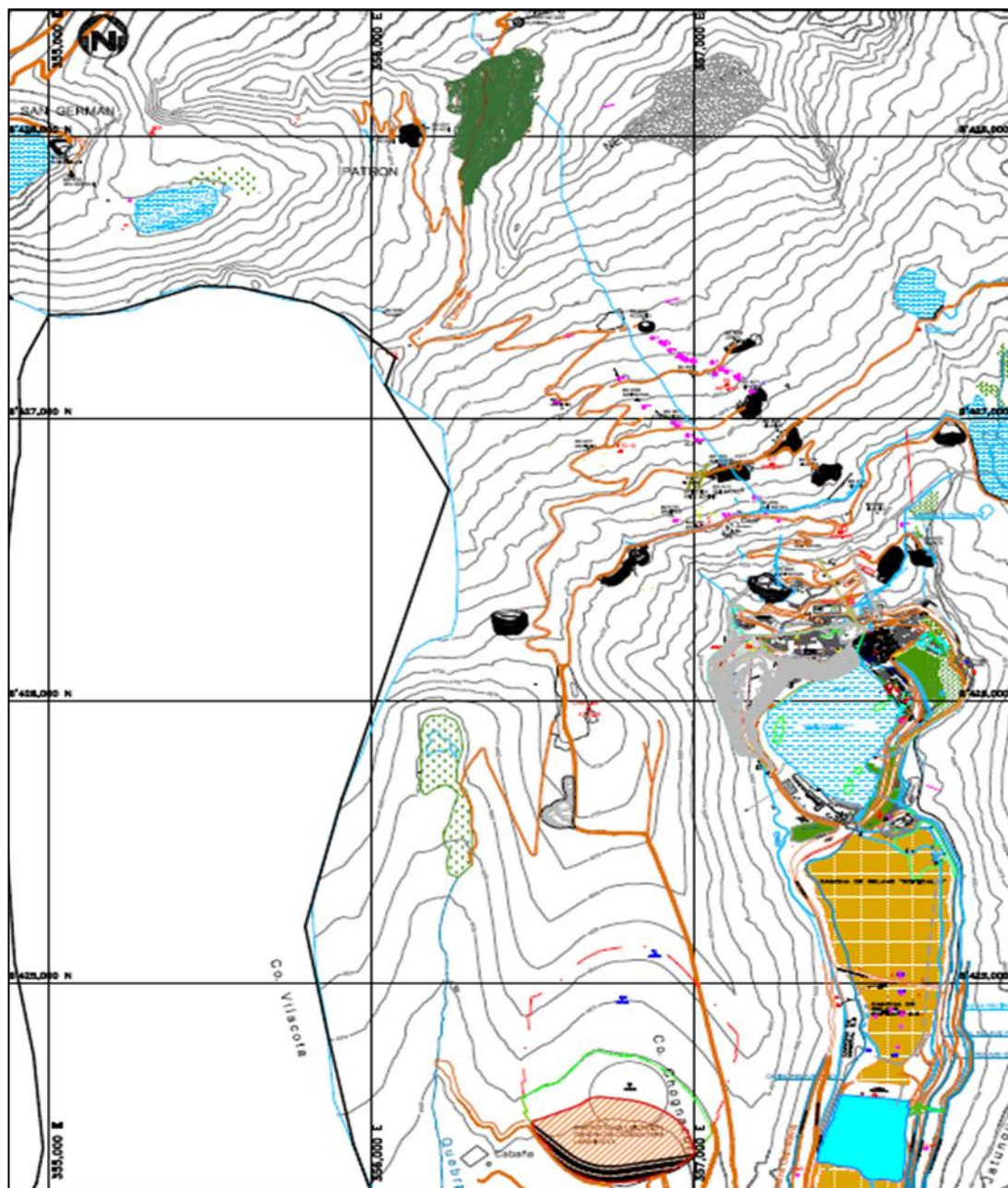
Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

La forma de llegar a la mina San Rafael es viajar en vuelo o terrestre de Lima a Juliaca, volando 1.5 h y por medio terrestre 23 h; luego por carretera terrestre en un viaje de 265 Km, demorando 3 h de Juliaca a San Rafael.

1.5.2 Componentes mineros

Los componentes mineros están especificados en la figura 02, el cual detalla ubicación de la relavera, oficinas administrativas, planta de beneficio, oficinas mina, campamentos, vías de acceso, etc.

Figura 2: Ubicación de componentes mineros



Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

1.5.3 Concesión

El plan de minado de producción y avances se viene ejecutando en las reservas minerales estimados que están ubicados en derechos mineros cuya titularidad está 100% a nombre Minsur S.A. en la concesión minera llamada Nueva Acumulación Quenamari – San Rafael.

1.5.4 Fuerza laboral

La fuerza laboral en Mina San Rafael está compuesta por un total de 2,664 trabajadores, entre obreros y empleados; la siguiente tabla 01, se indica el detalle de la distribución por CIA y contratistas:

Tabla 1: Fuerza laboral mina San Rafael

NÚMERO DE TRABAJADORES - UM SAN RAFAEL			
	Empleados	Obreros	Total
UM. San Rafael (CIA)	116	435	551
AESA			528
ATLAS AOPCO			35
CONFIPETROL			99
EXPLOMIN			94
MINLAB			53
OPEMIP OPERACIONES			76
UR TOPOGRAFÍA GEOSDESIA E. I. R. L.			16
EPCM EXPERTS			160
MAQUICEN OPERACIONES			27
TUMI - RAISE BORING			38
TALLERES HIDRAULICOS			2
CORPORACIÓN RAMIS SAC			32
FESAC			52
AK DRILLING			44
AUTRISA			3
HAUG			91
MEASURES & BUILDING SRL			11
VIJICSA			57
S&R CONTRATISTAS GNRLS			73
KELLER			12
TECWEL			25
MAN POWER			2
SAN MARTIN CONTRATISTAS			343
TÉCNICAS METALICAS			48
GOLUCH			4
FE EN CRISTO			10
J & V RESGUARDO S. A. C.			53
LIGABUE			98
CLINICA INTERNACIONAL			6
DISAL			13
MANPOWER			2
GMD			3
ISEM			3
Total			2664

Fuente: Of. RRHH Minsur

1.6 Geología

1.6.1 Generalidades y estudios realizados

Minsur S.A. del Grupo Breca, es una compañía minera líder en el Perú; reconocida por ser la tercera productora mundial de Estaño y tiene la mina más antigua y más rica de estaño en el mundo (San Rafael). La mina San Rafael tiene las mejores leyes de estaño a nivel mundial, con más de 50 años de operación ininterrumpida, actualmente se produce 2,950 t/d con una ley promedio de 1.70% Sn.

Entre los estudios realizados en la mina San Rafael, se puede mencionar:

Tabla 2: Estudios realizados en la mina San Rafael

Autor	Título	Año
Mario Arenas	Geología del distrito minero San Rafael	1980
V. Palma	Sistema de vetas de Estaño-Cobre en La mina San Rafael	1981
Clark	Ocurrencia y edad de la mineralización de Estaño en la Cordillera del Sur del Perú	1983
D. Kontak	Realizó estudio de: Evolución magmática y metalogénica de las interfaces del cratón orogénico en la cordillera de Carabaya de la Cordillera de los Andes	1984
U. Petersen	Mineral Potencial y recomendaciones para su exploración desarrollo en el distrito de San Rafael	1988
Lehmany – U. Petersen	Distribución Geoquímica del Estaño y Boro en la secuencia paleozoica de la cordillera real de Bolivia	1988

Fuente: Of. Geología Minsur

1.6.2 Geología regional

La geología regional consiste en una abundante gruesa secuencia marina del paleozoico inferior, como las lutitas de la formación San José, de edad ordoviciano medio; las lutitas, areniscas y cuarcitas de la formación Sandía, de edad ordoviciano superior, y las lutitas intercaladas con cuarcitas del grupo Ananea, del devónico-silúrico, que han sufrido los efectos de la tectónica comprensiva herciniana temprana. Rocas del paleozoico superior

han sufrido los efectos de la tectónica herciniana final, representada por areniscas y lutitas del grupo Ambo, de edad missisipiana; lutitas y calizas del grupo Tarma, de edad pensilvaniana, y calizas del grupo Copacabana, de edad Pérmico Inferior. El tectonismo anterior fue seguido por un levantamiento continental que dio origen a los sedimentos continentales y volcanismo del grupo mitu, de edad pérmico medio a superior, sobre los cuales se depositaron secuencias calcáreas, arenosas y lutíticas del cretáceo.

Las rocas paleozoicas de la cordillera de Carabaya fueron intruidas por rocas peraluminosas de los plutones Limacpampa, Limbani, Aricoma y Coasa, agrupados en el batolito de Coasa, de edad triásica. Hacia el noroeste se encuentra un plutón de sienita nefelínica peraluminosas y volcánicos per alcalinos, ambos del Jurásico.

En la depresión de Crucero y en las estribaciones de la cordillera o pre cordillera de Carabaya existen rocas ígneas extrusivas e hipabisales del terciario. Las rocas extrusivas comprenden lavas y piroclásticos, basaltos, shoshonitas, riocitas y riolitas del tipo S, además, intrusivos hipabisales peraluminosos del Oligoceno Superior- Mioceno Inferior. Otro tipo de rocas comprende piroclásticos e hipabisales riolíticos fuertemente peraluminosos con biotita, sillimanita, muscovita, andalucita, turmalina, que fueron emplazados del mioceno inferior a superior.

Los intrusivos triásicos y terciarios forman parte del dominio magmático del arco interior de la Cordillera oriental, la que ha tenido una evolución diferente al dominio magmático del arco principal de la Cordillera occidental (Clark, 1984).

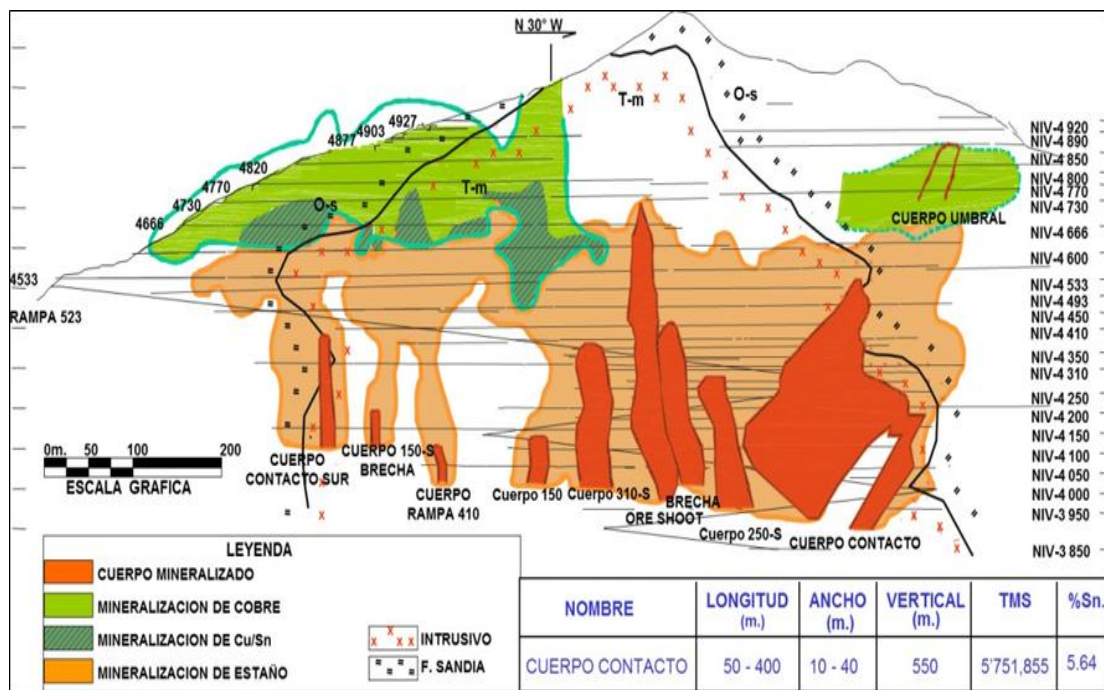
1.6.3 Geología económica y mineralizada

En la subprovincia metalogenética de la faja estannífera de Bolivia en los andes centrales, la mina San Rafael está en el distrito

minero San Rafael, con cobre en la parte superior y estaño con profundidad; además, una mineralización polimetálica de plomo-zinc-plata-cobre-estaño hacia los bordes o extremos de este distrito minero.

La mineralización es de origen hidrotermal en vetas de relleno y de reemplazamiento de fracturas y cuerpos de mineral en el monzogranito y en los meta sedimentos. La zona mineralizada de este distrito minero abarca una extensión de 5km por 7.5km, en donde se encuentran las minas San Rafael y Quenamari.

Figura 3: Sección longitudinal de la veta San Rafael, mostrando la mineralización de Sn - Cu



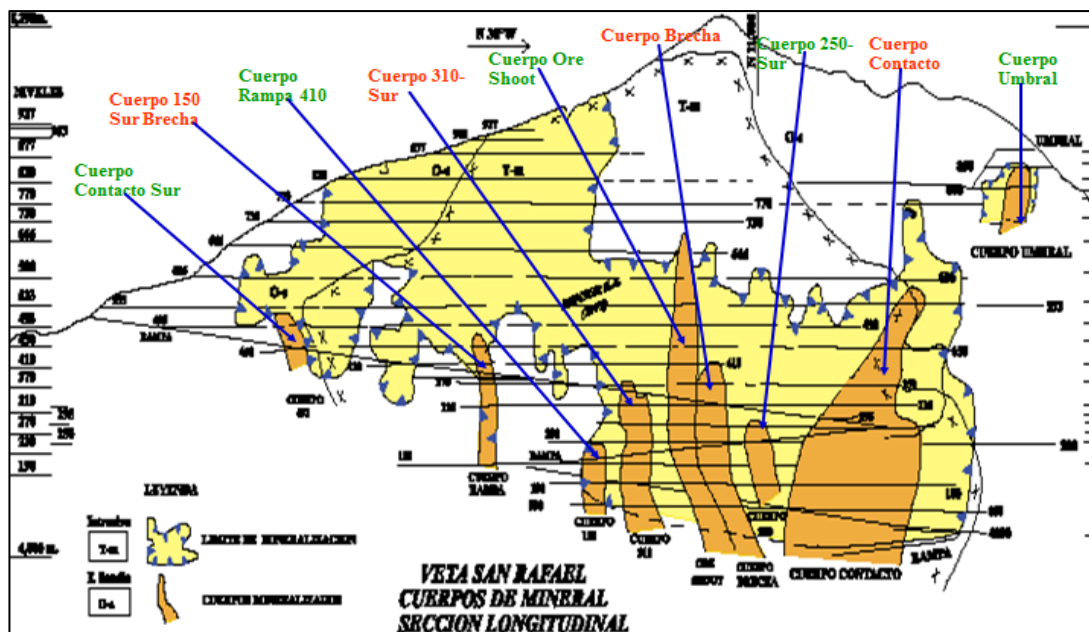
Fuente: Of. Geología – Minsur

1.7 Proceso productivo del mineral

En los últimos años la Unidad Minera San Rafael ha venido experimentando una importante transición de cuerpos mineralizados a estructuras estrechas económicamente rentables, es así que actualmente la producción se basa de un 65 % de vetas angostas y un 35 % de cuerpos (variable dependiendo al programa mensual de

producción), por ende se cuenta con una producción diaria de 2,950 t/d con una ley de cabeza de 1.70 % de Estaño, la cual es proveniente de los tajos de extracción siendo transportada a superficie (C-1) y procesada en la planta concentradora; por otro lado se tienen la planta de ore sorting la cual da un aporte de mineral de 526 t/d con ley de 1.75 % de estaño, ambos dando valores de concentrado 52 t finas/d de estaño.

Figura 4: Geología del yacimiento

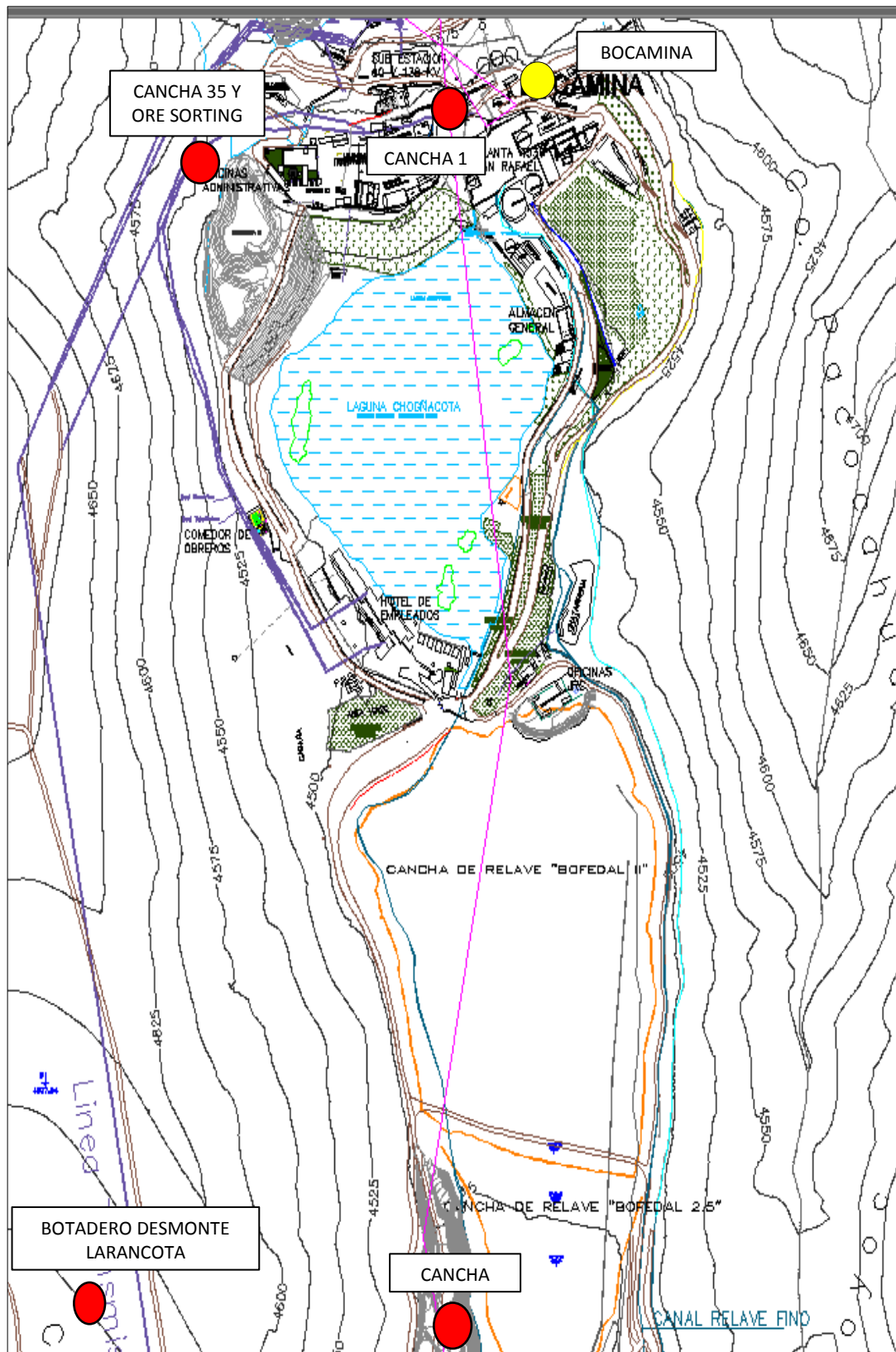


Fuente: Of. Geología - Minsur

En la Planta concentradora trata el mineral de casiterita (SNO₂), con leyes promedio de cabeza de 1.78 % Sn actualmente, la cual es variable dependiendo de la zona proveniente del mineral.

Se utilizan dos métodos de concentración: gravimétrico y flotación de casiterita, con capacidad de tratamiento de 3,161 t/d, con una recuperación de 93%, obteniendo concentrados de estaño con una pureza de 64% para luego enviarlas a la refinarla de Pisco y obtener así la pureza de 99.9%.

Figura 5: Ubicación de las canchas de mineral y desmonte (proceso productivo San Rafael)



Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

CAPÍTULO II

MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

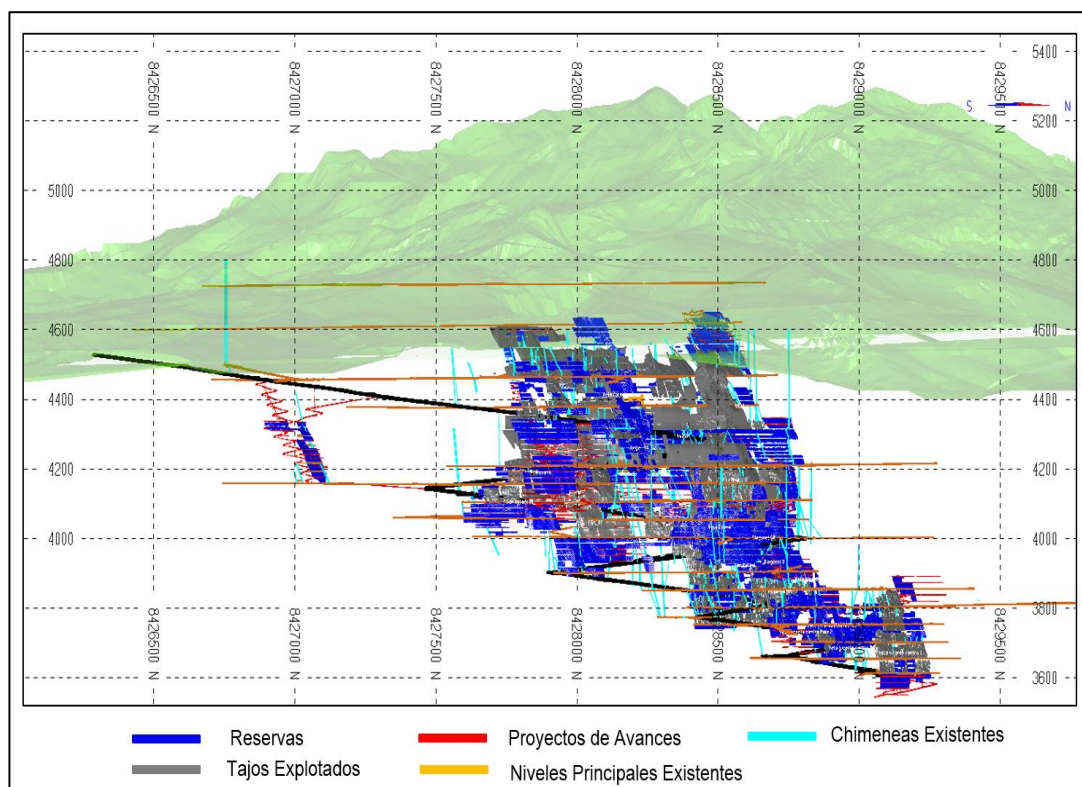
2.1 Operaciones mina

La Unidad Minera San Rafael es una mina mecanizada, que tiene una rampa principal de 9.5 km de longitud y una profundidad máxima de 1.3 Km en la vertical, con respecto a la labor más profunda.

Que de acuerdo con la figura 06, la concentración de recursos y reservas se ubica por debajo del Nv 4650 hasta el Nv 3610. Dependiendo del zoneamiento de la mineralización, la mina tiene tres sectores claramente marcados. La primera es la zona de cobre sobre el Nv 4666; la zona de cobre-estaño entre el Nv 4600 y 4543; y la tercera, de la zona de estaño, ubicada debajo del Nv 4543, sector actualmente en operación y de donde se produce el mineral de estaño.

En la figura 06 se puede apreciar las reservas reportadas en el inventario, la rampa principal, las zonas explotadas, los proyectos a ejecutarse, las chimeneas existentes, los niveles principales y la superficie de la mina.

Figura 6: Vista longitudinal compuesta al oeste de las reservas 2017



Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

2.2 Plan de minado

El programa de producción del año 2018 se basa en las reservas al 31 de diciembre del 2017 de la Unidad Minera San Rafael. El plan considera producir 1,062,150 t de mineral con ley de cabeza promedio de 1.70% Sn. El total de producción planificada el 75% será de los tajos, el 25% de labores de avances.

Tabla 3: Resumen de producción mina San Rafael

Detalle	Und	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Mineral de Tajos	t	67,408	61,841	69,199	65,864	68,383	64,380	66,520	67,051	65,051	67,646	65,803	67,847	797,261
	% Sn	158.00	1.62	1.62	2.00	1.63	1.40	1.91	1.86	2.06	1.93	1.95	1.95	1.77
Mineral de Preparaciones	t	22,802	19,639	21,011	21,436	21,827	22,920	23,689	23,159	21,981	22,564	21,497	21,497	264,889
	% Sn	1.18	0.83	1.09	1.22	0.97	1.13	1.13	1.34	1.10	1.08	1.03	1.03	1.08
Total Mineral Extraído	t	90,210	81,480	90,210	87,300	90,210	87,300	90,209	90,210	87,032	90,210	87,300	89,344	1,062,150
Ley de Cabeza	% Sn	1.48	1.43	1.50	1.81	1.47	1.33	1.71	1.72	1.82	1.72	1.72	1.50	1.60

Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

2.3 Plan de avances en desarrollos, preparación y exploración

Para el desarrollo de las actividades de la Unidad Minera y con el fin de continuar con una explotación sostenible se tiene que considerar los avances tanto en preparación, desarrollo y explotación por un total de 22,193 m a realizar, tanto en desarrollo 2,460 m, preparaciones 16,373 m, exploración 3,360 m, los cuales se muestran en tabla 04.

Tabla 4: Resumen de Avances Mina San Rafael

Sección	Und	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
3.2 x 3.3	m	55	141	241	96	121	195	133	106	162	150	196	300	1,895
3.5 x 3.5	m	223	118	42	183	160	84	148	174	117	131	85		1,465
Exploración	m	278	259	283	279	281	279	281	280	279	281	281	300	3,360
2.4 x 2.0	m		17			6	13	28	8				17	89
3.0 x 3.0	m		3			6								9
3.2 x 3.3	m	8					9					33	30	80
3.5 x 3.5	m	134	122	124	133	121	135	141	115	61	27	45	126	1,284
4.0 x 3.5	m													-
4.0 x 4.0	m	65	51	79	73	66	40	36	81	138	162	128	37	956
5.0 x 4.0	m		7			7	7			7	14			42
Desarrollo	m	207	200	203	206	206	204	205	204	206	203	206	210	2,460
3.0 x 3.0	m													-
3.1 x 3.1	m	158	591	711	593	396	375	471	546	445	370	221	223	5,100
3.2 x 3.3	m	415	154	292	262	295	319	321	271	385	553	641	270	4,178
3.5 x 3.5	m	817	487	387	501	699	662	598	573	526	468	493	887	7,098
4.0 x 4.0	m													-
Preparación	m	1,390	1,232	1,390	1,356	1,390	1,356	1,390	1,390	1,356	1,391	1,355	1,380	16,376
Total	m	1,875	1,691	1,876	1,841	1,877	1,839	1,876	1,874	1,841	1,875	1,842	1,890	22,196
Días Operación	Día	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365

Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

2.4 Presupuesto opex

En toda operación minera es fundamental considerar el presupuesto Opex; contemplado para el año un plan de producción al que se requiere alcanzar en la siguiente tabla 05, se podrá ver al detalle del costo por áreas principales de la Unidad Minera San Rafael Minsur S.A.

Cabe mencionar que este presupuesto Opex, tiende a variar trimestralmente, realizando un forecast 1Q, 2Q y 3Q.

Tabla 5: Resumen OPEX mina San Rafael

Presupuesto OPEX 2018 en USD: Detalle por Áreas Principales (No incluye Opex discrecional y gestión social)													
Área	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Exploraciones	428,358	426,951	465,340	481,480	474,166	447,931	453,866	466,927	472,880	498,845	454,568	375,153	5,446,465
Geología	256,579	255,861	280,090	267,459	320,931	277,156	264,860	253,838	289,429	327,002	254,551	297,355	3,345,111
Mina	4,218,402	4,087,089	4,361,683	4,301,062	4,436,888	4,324,183	4,313,884	4,209,675	4,185,463	4,012,410	3,898,772	4,116,369	50,465,880
Planta Pre-Concentradora	31,696	31,464	31,569	523,515	583,385	620,100	564,487	546,293	613,022	484,051	32,400	36,958	4,098,940
Planta	1,425,063	891,384	971,090	947,561	1,683,511	957,649	938,288	931,011	1,572,480	831,437	862,494	943,912	12,955,880
Mantenimiento	544,675	564,368	551,377	604,787	619,643	606,047	604,770	616,880	609,389	593,693	534,041	570,611	7,020,281
Energía	705,126	687,169	721,711	748,860	745,791	739,186	747,599	746,559	722,272	749,979	706,402	741,433	8,762,087
Apoyo	1,323,923	1,455,513	1,503,506	1,399,542	1,528,165	1,696,063	1,510,736	1,401,370	1,455,180	1,579,216	1,478,668	1,477,950	17,809,832
Total	8,933,822	8,399,799	8,886,366	9,274,266	10,392,480	9,668,315	9,398,490	9,172,553	9,920,115	9,076,633	8,221,896	8,559,741	109,904,476

Fuente: Of. Costos y presupuestos - Minsur

2.5 Geomecánica

2.5.1 Aspectos generales

Los aspectos geomecánicos relacionados a las reservas y al plan de minado están orientados a determinar las aberturas máximas para los tajeos de explotación, el sostenimiento adecuado para garantizar la estabilidad física, control de la dilución geomecánica y otros aspectos relacionados a las particularidades de la Unidad, como son la sismicidad inducida, manejo de la gran cavidad y manejo del relleno de aberturas.

2.5.2 Hidrogeología

A lo largo de la mina se ha podido observar que la presencia del agua no es abundante, las filtraciones de agua principalmente se encuentran en lugares localizados que coincidieron con fallas locales. En este contexto, asumen que no habrá efecto del agua en la estabilidad de las excavaciones.

2.5.3 Geo-estructuras

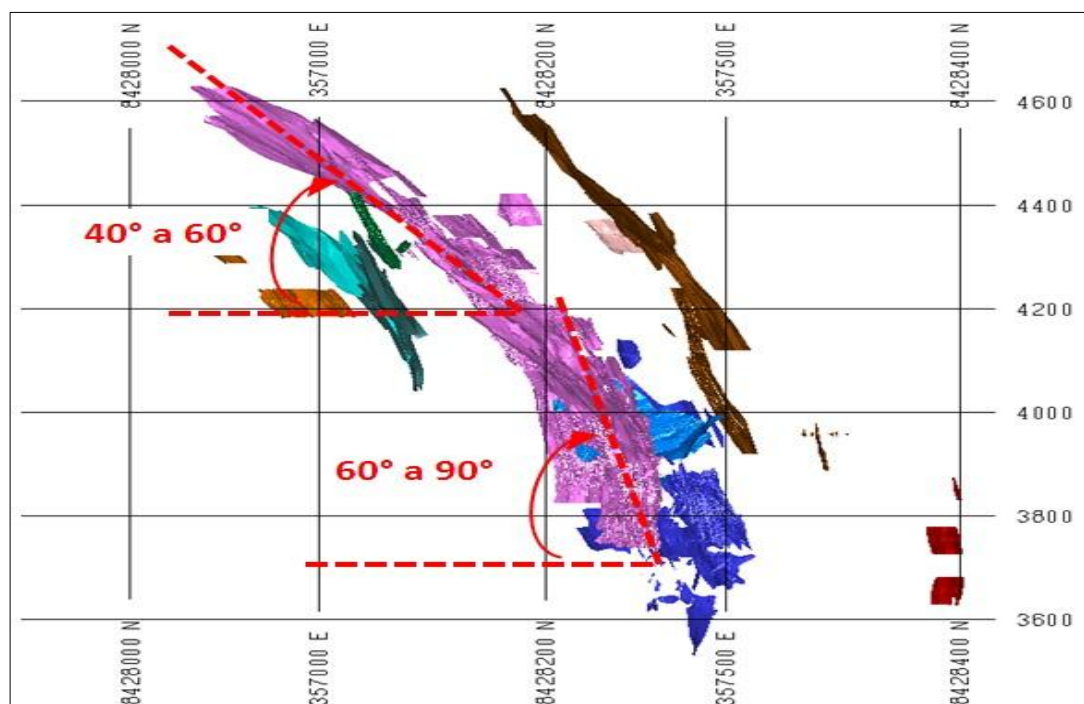
El boletín 79 del INGEMMET “Geología del cuadrángulo de Macusani” (1996), menciona que la Unidad San Rafael se

emplaza estructuralmente en la mayor deformación del sector, por tener en su exposición rocas paleozoicas, cuyo sistema principal de fallamiento posee un rumbo andino NW – SE, encontrándose desplazadas por fallas transversales de rumbo NE – SW y E – W.

Al mismo tiempo como geo estructuras se observa una secuencia de vetas paralelamente distribuidas a lo largo del nevado de Bartolomé de Quenamari, que se ubica dentro del “Stock” monzogranito y de la formación Sandia, encontrándose dentro de esta la veta San Rafael, siendo la que se explota actualmente y es rica en contenido de estaño.

Las estructuras mineralizadas, son paralelas al rumbo general de la cordillera de los Andes (NW). El rumbo de la veta San Rafael tiene N 40° W con un buzamiento de entre 60° y 70° al NE. La Figura 07, muestra una vista transversal resaltando el buzamiento de las estructuras sobre el Nv 4200, entre 40° y 60° y en la zona profunda (debajo del Nv 4200), entre 60° y 90°.

Figura 7: Vista transversal mirando al noroeste



Fuente: Of. Geomecánica - Minsur

2.5.4 Fallas

Estructuralmente la mina San Rafael, tiene dos fallas cercanas siendo estas la falla Estancococha y la falla Suytococha, estando estas dentro del nevado de Bartolomé de Quenamari, teniendo direcciones NW-SE estando estas alejadas de la veta San Rafael aproximadamente 1 km.

En el sector del cuerpo contacto (4300 a 4600 msnm) se ha identificado tres sistemas de fallas locales predominantes, siendo el principal paralelo a rumbo del sistema de vetas.

2.5.5 Discontinuidades

En la Unidad Minera San Rafael, existen tres familias de discontinuidades predominantes; la primera que es paralelo al rumbo y buzamiento de las vetas con valores de persistencia que superan los 30 m y los dos restantes están transversales al rumbo de las vetas con valores de persistencia menores a 10 m. Las características principales de cada una de las familias de discontinuidad se presentan en la siguiente tabla 06.

Tabla 6: Características físicas de los sistemas de familias predominantes

Familia	Buzamiento	Dirección de Buz	Persistencia	Espac. Prom (m)	Tipo	Separación de abertura	Tipo de relleno	Tipo de rugosidad	Tipo de ondulación
F1 Paralelo a veta	40 - 90	40 - 80	> 30m	0.15 - 0.45	Tensión	< 1mm	Vn sw Qz, Ox	Ligeramente rugosa	Pana
F2	Variable	Variable	< 10m	0.15 - 0.60	Tensión corte	< 1mm	Vn sw Qz, Ox	Ligeramente rugosa	Pana
F3	Variable	Variable	< 10m	0.30 - 0.60	Tensión	< 1mm	Ox, decolorada	Mediamente rugosa	Pana

Fuente: Of. Geomecánica - Minsur

2.5.6 Dimensionamiento de tajos de producción

La preparación existente en la mina considera alturas entre subniveles que varían entre 15, 25 y 50 m. Las dimensiones de los tajos longitudinales y transversales para las diferentes vetas,

fueron estimadas en base a los criterios de estabilidad descritos, los mismos que se resumen en la tabla 07.

Tabla 7: Dimensionamiento de tajos para “Sub Level Stopping”

Veta	Zona	Buz. Veta	Ancho de minado	RMR	RH	Dirección de minado	Altura de subnivel vertical (m)	Altura de tajo sin soporte Buz (m)	Longitud del tajo (m)	Metodo de minado
San Rafael	SR_01	75	3.39	58	6.00	Longitudinal	50	55.90	15	Sublevel stopping con
	SR_02 norte	80	6.28	58	6.20	Longitudinal	50	54.80	15	Sublevel stopping con
	SR_03 sur	76	13.20	58	6.00	Transversal	25		23	Sublevel stopping con
	SR_03 zona alta	57	4.50	58	4.80	Longitudinal	50	64.40	11	Sublevel stopping con
	SR_03 zona baja	71	12.33	58	5.60	Transversal	25		20	Sublevel stopping con
	SR_05	58	6.74	58	4.80	Longitudinal	50	63.70	11	Sublevel stopping con
	SR_07	63	6.89	58	4.80	Longitudinal	50	60.60	13	Sublevel stopping con
Ramal techo	SR_VT_T	70	2.11	58	5.50	Longitudinal	50	57.50	14	Sublevel open
Vicente piso	VVI	68	11.10	58	5.50	Transversal	50	31.30	20	Sublevel stopping con
Vicente centro norte	VVI	77	6.52	58	5.80	Longitudinal	25	55.40	15	Sublevel open
Ramal techo vicente centro	VVI	71	21.49	58	5.50	Transversal	50	30.70	20	Sublevel stopping con
Kimberly	KIM	60	2.43	65	7.20	Longitudinal	25	62.40	18	Sublevel stopping con
	KIM	63	2.18	65	7.30	Longitudinal	50	60.60	18	Sublevel stopping con
Split mariano	SMA_VSM	64	1.82	66	8.50	Longitudinal	50	60.10	24	Sublevel stopping con
Diagonal_3	DI_VD_3	56	2.09	65	7.00	Longitudinal	50	65.10	18	Sublevel stopping con
Diagonal_A	DI_VD_A	66	1.74	65	7.30	Longitudinal	50	59.10	22	Sublevel open
Diagonal_B	DI_VD_B	62	2.16	65	7.50	Longitudinal	50	61.20	18	Sublevel stopping con
Diagonal_SR	DI_VD_SR	64	2.74	65	7.50	Longitudinal	50	60.10	20	Sublevel open
	DI_VD_SR	64	4.10	65	7.50	Longitudinal	50	60.10	20	Sublevel open
Diagonal_VVI 1	DI_VD_V1	70	2.44	65	8.00	Longitudinal	50	57.50	22	Sublevel stopping con
Diagonal_VVI 2	DI_VD_V2	67	1.93	65	7.80	Longitudinal	50	58.70	21	Sublevel open
Victoria	VIC_VVICT	64	1.83	75	11.00	Longitudinal	50	60.10	52	Sublevel stopping con
	VIC_VVICT	58	1.74	75	13.00	Longitudinal	50	63.70	44	Sublevel stopping con
Carmen	CAR_VCAR	60	3.83	65	7.30	Longitudinal	50	62.40	18	Sublevel stopping con
Eliana	ELI	65	2.65	65	7.50	Longitudinal	50	59.60	20	Sublevel open
Estancococha	EC_VR_EC	82	2.15	55	4.90	Longitudinal	50	54.50	12	Sublevel stopping con

Fuente: Of. Geomecánica - Minsur

En la Unidad Minera San Rafael, también se aplica el método de minado “Bench and Fill Stoping”, la tabla 08 muestra las dimensiones de las aberturas considerando un ángulo de reposo del desmonte de 37°.

Tabla 8: Dimensionamiento de tajos para “Bench and Fill Stoping

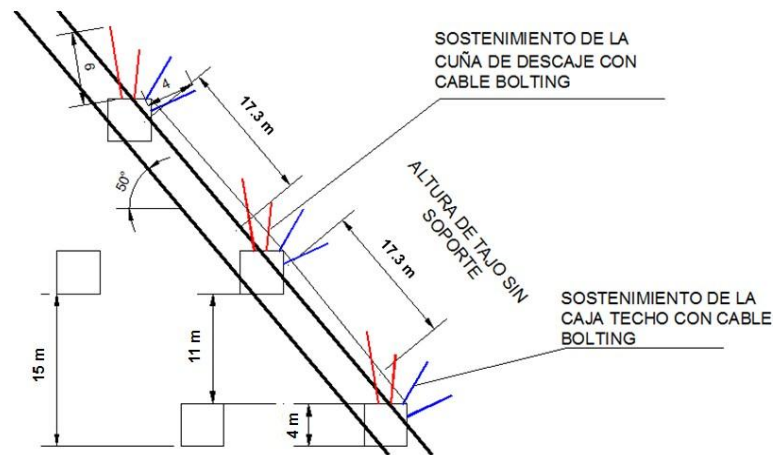
Veta	Zona	Buz. Veta	Ancho de minado	RMR	RH	Dirección de minado	Altura de subnivel vertical (m)	Altura de galería (m)	Altura de tajo sin soporte Buz (m)	Longitud del tajo - zona de descarga (m)
San Rafael	SR_04	56	2.78	58	4.8	Longitudinal	15	4	22.9	25
	SR_06	75	2.74	58	6	Longitudinal	15	4	19.6	41
	SR_07	71	2.14	58	5.6	Longitudinal	15	4	20.1	35
	SR_09	66	1.8	58	5.5	Longitudinal	15	4	20.8	33
		66	1.97	58	5.5	Longitudinal	15	4	20.8	33
	SR_10	56	2.5	58	4.8	Longitudinal	15	4	22.9	26
	SR_11	63	3.53	58	5.4	Longitudinal	15	4	21.3	32
55		2.96	58	4.8	Longitudinal	15	4	23.2	26	
SR_PILARES	SR_VP4370	54	2	58	4.7	Longitudinal	15	4	23.5	26
	SR_VP4450	52	2.23	58	4.5	Longitudinal	15	4	24.1	24
SAN RAFAEL TECHO	SR_VSR_T	63	2.16	58	5.4	Longitudinal	15	4	21.3	32
RAMAL PISO VICENTE	VVI	76	5.4	58	5.7	Longitudinal	15	4	19.6	37
VICENTE	VVI	69	2.59	58	5.5	Longitudinal	15	4	20.4	34
CENTRO SUR	VVI	67	12.63	58	5.2	Transversal	15	4	20.6	44
RAMAL PISO VICENTE	VVI	67	12.63	58	5.2	Transversal	15	4	20.6	44
MARIANO	MA	68	2.16	66	8.5	Longitudinal	15	4	20.5	110
DIAGONAL_1	DI_VD_1	57	2.17	65	7.1	Longitudinal	15	4	22.7	48
PEDRO	PED	58	2.24	55	3.8	Longitudinal	15	4	22.4	21
CYNDHI	CYN	75	6.11	55	4.8	Longitudinal	15	4	19.7	29
JORGE	JOR	67	2.13	61	6.3	Longitudinal	15	4	20.6	42
	JOR	69	3.34	61	6.5	Longitudinal	15	4	20.4	46
CARMEN	CAR_VCAR	60	5.23	65	7.3	Longitudinal	15	4	21.9	54
KAREN	KAR_VKAR	55	2.78	52	4.5	Longitudinal	15	4	23.2	25

Fuente: Of. Geomecánica - Minsur

2.5.7 Sostenimiento de tajos de producción con cable bolting

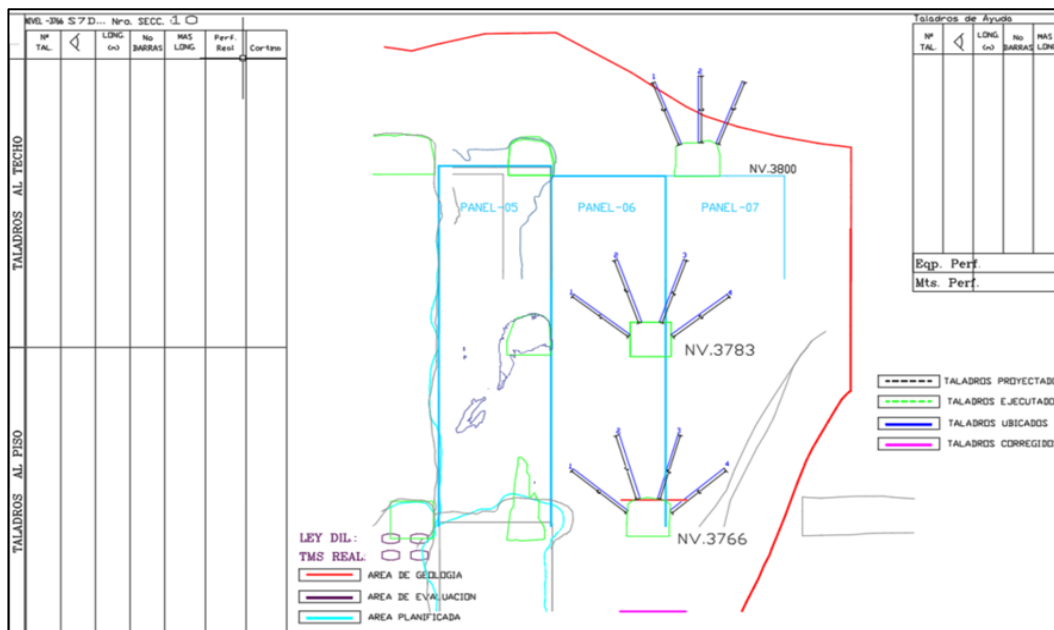
El tipo de sostenimiento de tajos, para cada uno de los tipos de inestabilidad e incremento del radio hidráulico de los tajos, requerirá el uso de cable bolting, con longitudes de 4 y 6 m. La figura 09, muestra el esquema típico de sostenimiento con cable bolting.

Figura 8: Sostenimiento típico para tajos con buzamiento menor a 50°



Fuente: Of. Geomecánica - Minsur

Figura 9: Diseño de c. bolting tajo 3750-2050 Vicente (panel 2. Nv 3766, Nv 3783 y Nv 3800)



Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

2.5.8 Tipos de sostenimiento en la mina

En la Unidad Minera San Rafael se viene instalando los siguientes tipos de sostenimiento:

- Malla electrosoldada de 2.10m x 25.0m
- Pernos helicoidales de 7 pies de 22 y 19 mm de diámetro
- “Split Sets” de 3 y 5 pies
- Cuadros de madera
- Cimbras de acero
- “Wood packs”
- “Shotcrete”
- “Cable bolting” de 4 y 6 metros de longitud

La tabla 09, muestra el resumen comparativo de diferentes secciones para avances y la calidad de macizo rocoso (RMR).

Tabla 9: Comparación de parámetros de sostenimiento versus secciones de avance

Parametros comparativos	Und.	3.2 m X 3.3 m			3.5 m X 3.5 m			5.0 m X 4.0 m		
		RMR-43	RMR-48	RMR-52	RMR-43	RMR-48	RMR-52	RMR-43	RMR-48	RMR-52
Pernos	ea	9	9	9	9	9	9	11	11	11
Ratio	Nro perno/m	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	5.9	5.9	5.9
Factor de Seg.	Factor	0.78-1.6	>1.6	>1.6	0.78-1.6	>1.6	>1.6	0.78-1.6	0.78-1.6	>1.6
Área perturbada	m2	2.5	1.78	1.48	2.82	2	1.57	3.3	2.3	1.78
Long de perno	m	>2.1m	2.1m	2.1m	>2.1m	2.1m	2.1m	>2.1m	>2.1m	2.1m

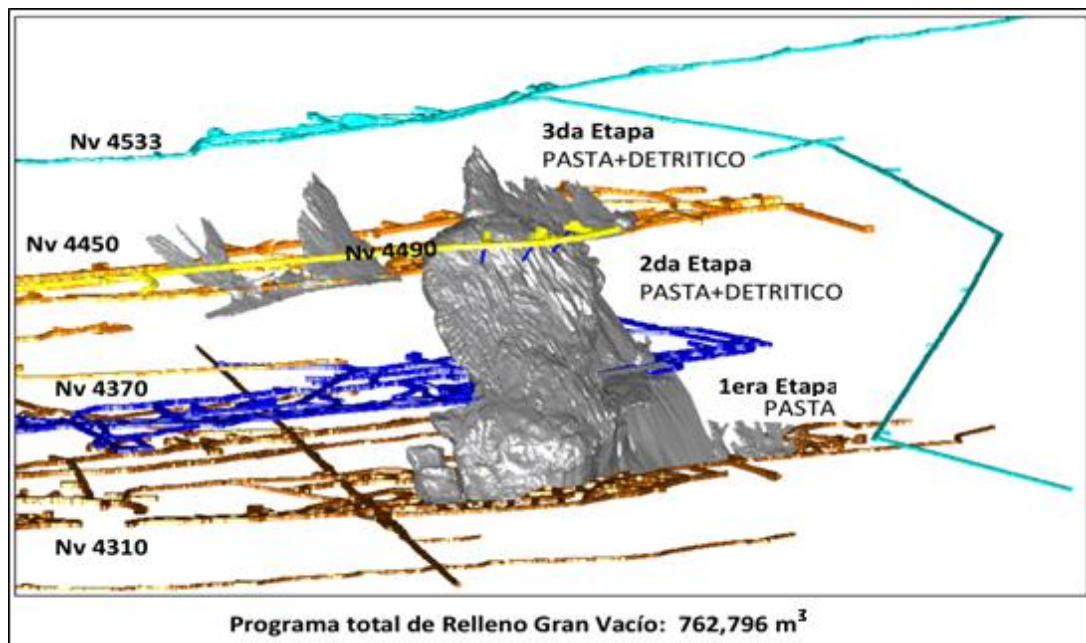
Fuente: Of. Geomecánica - Minsur

2.6 Gran cavidad

La Unidad Minera San Rafael, tiene el sector conocido como la gran cavidad, el cual es un sector de gran antigüedad no rellena, que con el transcurso del tiempo se estaba derrumbando sola y de donde, a lo largo de los años se ha recuperado mineral; esto involucraba a que no era un lugar seguro. El manejo y control de este sector ha requerido monitoreos a través de levantamientos con equipos optech, los cuales han permitido

generar sólidos con levantamiento de equipos optech y complementados con levantamiento, se muestra en la figura 10.

Figura 10: Levantamiento topográfico de la gran cavidad



Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

El relleno del gran vacío se planeó rellenar en 3 etapas, el volumen total a rellenar es de 762,796 m³.

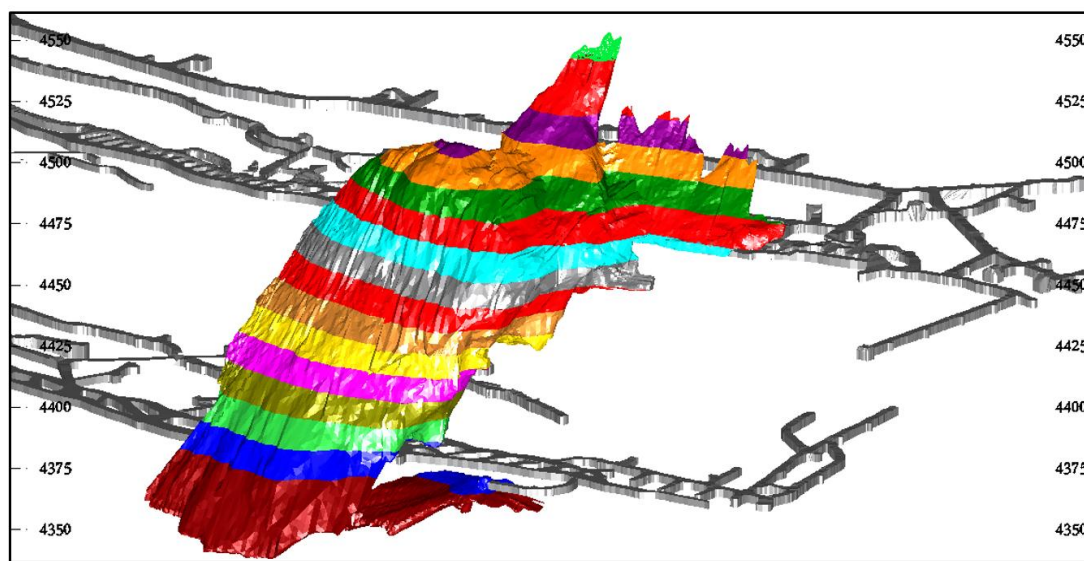
- 1era etapa del Nv 4310-4370: se rellenará con relleno en pasta, abarcando 60,000 m³.
- 2da etapa del Nv 4370-4450: se rellenará con relleno en pasta Pobre y relleno detrítico, abarcando 389,976 m³.
- 3ra etapa del Nv 4450-4533: se rellenará con relleno en pasta, y este abarcará 312,820 m³; culminando con esto el objetivo.

A diciembre del 2016 se culminó la primera etapa, se encuentra relleno con detrítico que proviene de mina subterránea y desmonte del pre concentrado y del total del vacío en el año 2016 se rellenó 239,277 m³ quedando pendiente rellenar 523,352 m³; para el cierre del año 2017 se ha rellenado 367,449 m³ culminando la segunda etapa e iniciándose la tercera etapa, este volumen se encuentra relleno con relleno detrítico proveniente de mina subterránea y desmonte de pre

concentrado y relleno en pasta pobre proveniente de la planta de relleno en pasta 02 ubicada en el Nv 4533; quedando por rellenar $42,244 \text{ m}^3$, la cual ya fue rellenada en su totalidad en mayo del 2018.

En la figura 11, se muestra una vista longitudinal de la gran cavidad dimensionada cada 10 m según la secuencia de relleno del vacío.

Figura 11: Vista longitudinal de la gran cavidad dimensionada (cada 10 m)



Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

2.7 Métodos de explotación

Los métodos de minado considerados para el planeamiento de minado en la Unidad San Rafael son: Sub level stoping longitudinal, sub level stoping transversal, sub level open stoping, bench and fill, shrinkage stoping y cut and fill stoping.

Los métodos de minado considerados para una primera etapa de selección cualitativa incluyeron una amplia gama de alternativas como:

- Métodos masivos: Block caving y sublevel caving.
- Métodos semi-masivos: Sublevel stoping longitudinal, sublevel stoping transversal, sublevel open stoping y bench and fill.
- Métodos selectivos: Room and pillar, shirinkage stoping y cut and fill stoping.

Teniendo como base esta primera lista genérica se evaluó de manera cualitativa las características y aplicabilidad de cada uno de los métodos de minado a las condiciones de las vetas y cuerpos de San Rafael bajo la consideración que deberán ser técnica y económicamente viables de manera individualizada para cada zona y veta del yacimiento. Los métodos preseleccionados son:

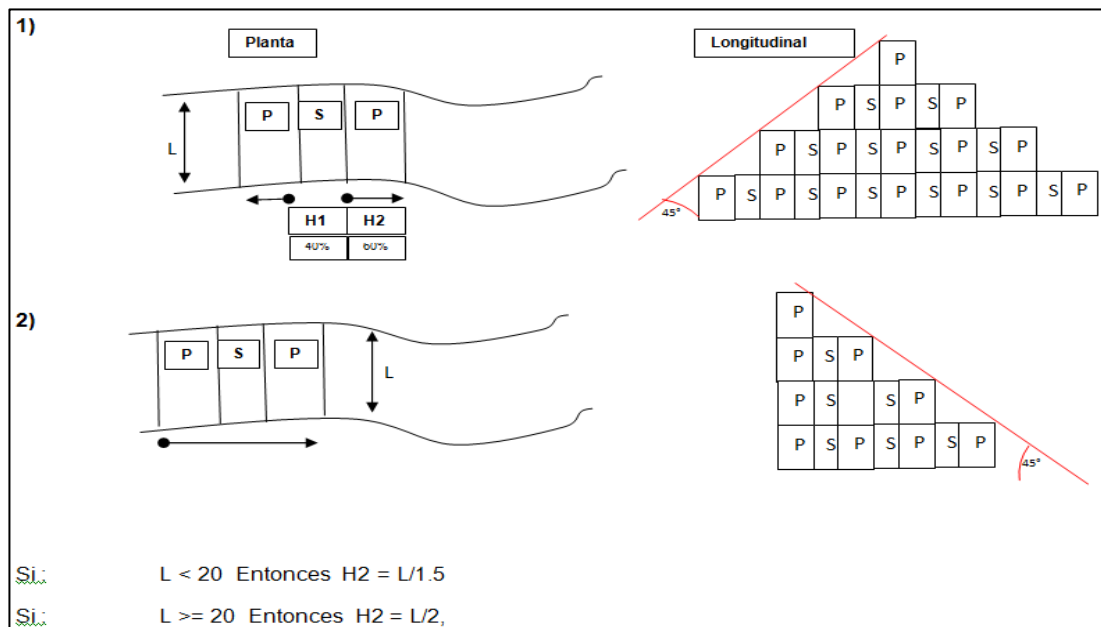
- Métodos semi-masivos: Sublevel stoping longitudinal, Sublevel stoping transversal, sublevel open stoping y bench and fill.
- Métodos selectivos: Shrinkage stoping y Cut and fill stoping

A continuación, indico los criterios conceptuales para el diseño de los métodos de minado alternativos.

2.7.1 Sub level stoping transversal (SLST)

Se utilizará en estructuras calificadas como cuerpos con potencias mayores a 10 m. El ancho del tajo (distancia en vista longitudinal) equivale a un factor divisor de 1.5 a la potencia del cuerpo si esta es menor a 20 m y un factor de 2 si es igual o mayor a 20 m.

Figura 12: Esquema de secuencia de minado en “sub level stoping” transversal

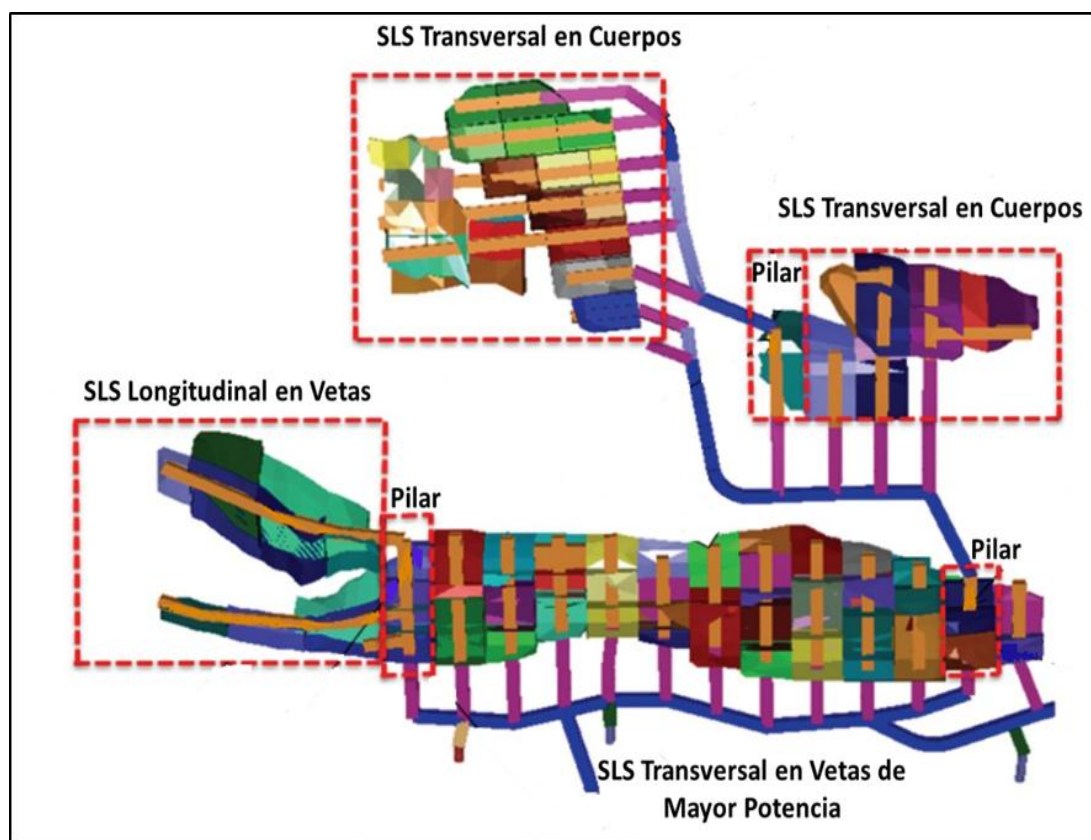


Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

Se utiliza relleno en pasta para dar estabilidad a las zonas de explotación, pero principalmente con el fin de generar paredes autoestables en la vecindad de las zonas de minado que permita recuperar la mayor cantidad del mineral existente y asegurar la continuidad de la explotación. Las dimensiones del bloque consideradas para los costos operativos y de capital son 100 m de largo y 56 m de altura que incluyen los niveles inferior y superior.

Su aplicación está recomendada en vetas con potencias menores a 10 m principalmente por sus características de secuencia y estabilidad figura 13, muestra el cambio del método transversal al método longitudinal, lo que es importante en minas como San Rafael, en el que ocurren cambios de cuerpos o vetas de gran potencia a vetas angostas.

Figura 14: Esquema de métodos de minado "sub level stoping (SLS)" longitudinal y transversal



Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

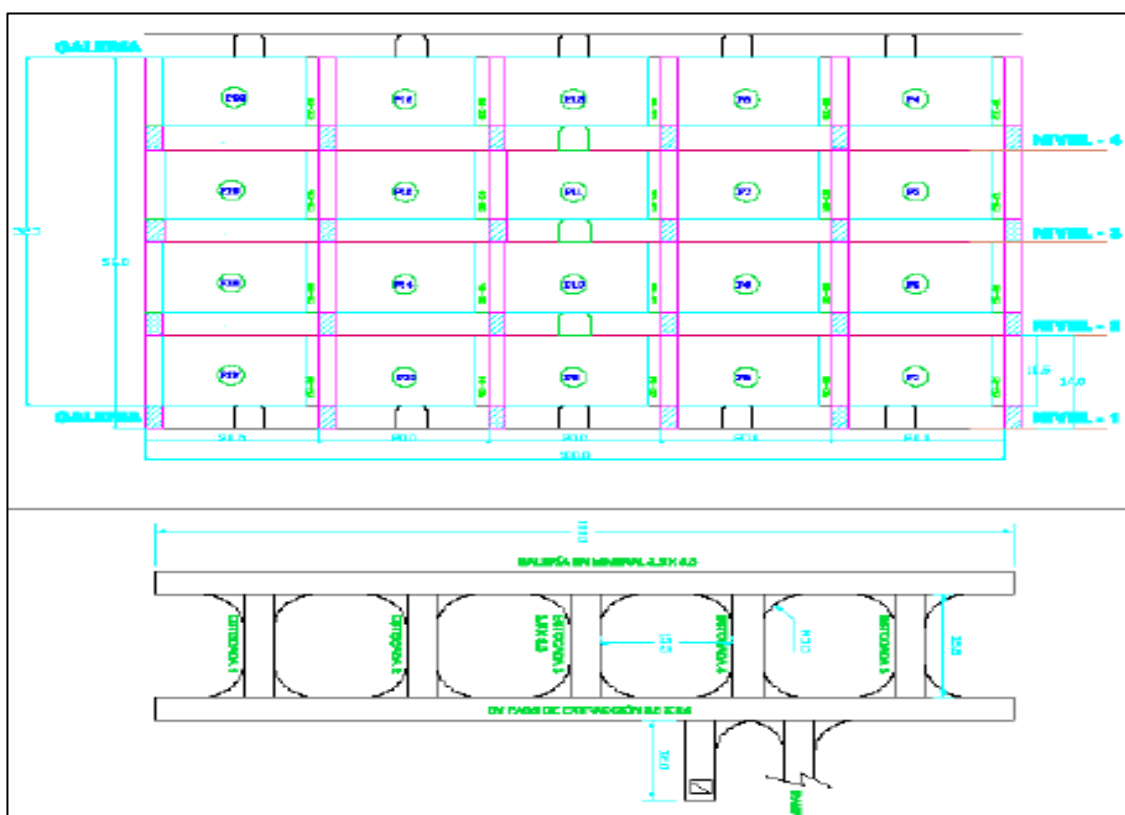
2.7.3 Sub-level open stoping (SLOS)

Se estima su utilización en estructuras con potencias menores a 5 m, no es necesario el empleo de relleno de ningún tipo. El sostenimiento será con pilares tipo costilla alternados cada 25 m (ancho de pilar de 1 a 1.5 veces la potencia de la estructura mineralizada).

Aplicable en zonas aisladas, extremas o en las áreas superiores finales de minado, y es posible también en cuerpos con una distancia longitudinal de 15 a 20 m dejando pilar al inicio y final de cada bloque.

La dimensión del block estimado es de 100 metros de largo y 56 metros de altura, con subniveles cada 14 m de altura como se muestra en la figura 15.

Figura 15: Esquema de métodos de minado “sub level open stoping”

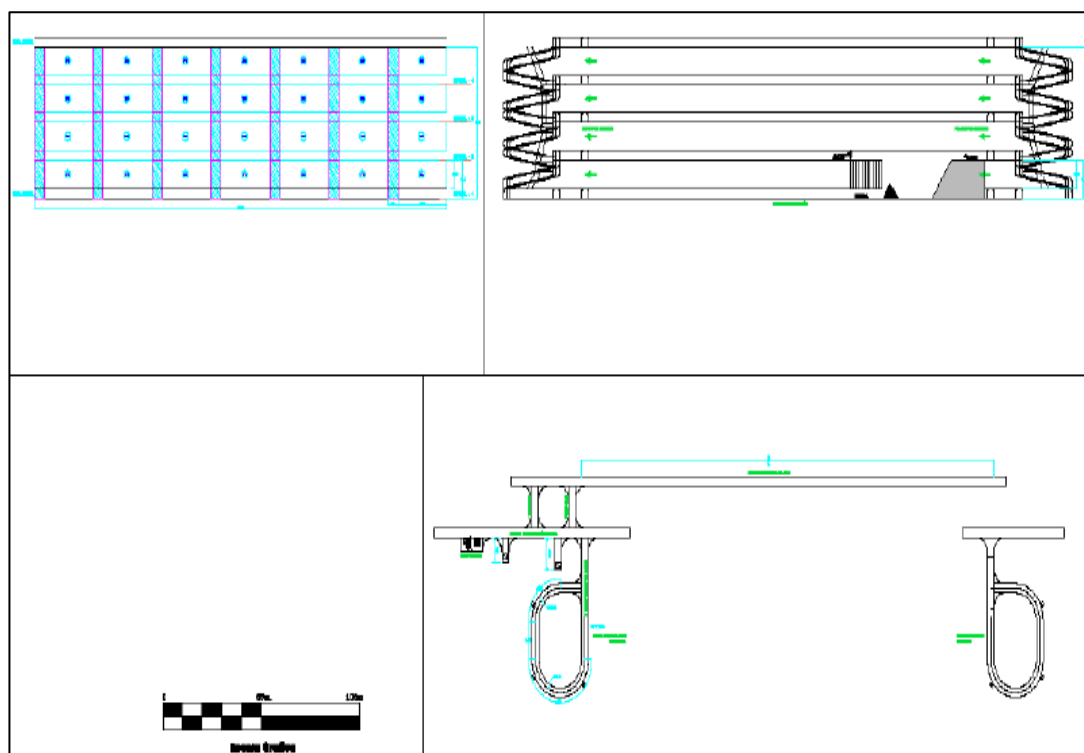


Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

2.7.4 Bench and fill stoping

Aplicable preferentemente en estructuras con potencias de 3 a 10 m y con buzamiento mayor a 65° . En potencias menores puede ser también aplicable, sin embargo, su productividad sería muy pobre y se requeriría equipos de menor envergadura para no impactar con sobre dilución. La roca encajonante es generalmente de baja competencia y la roca mineralizada de baja a media. Es un método altamente selectivo y de baja productividad, por lo que permite explotar cuerpos de baja regularidad y continuidad espacial. Consideran la posibilidad de aplicación en estructuras con potencias mayores a 3 m principalmente, para potenciar la utilización de la flota general de equipos, sin impactar la selectividad del método y para incrementar su productividad por disparo. Las dimensiones conceptuales del bloque son de 150 m de largo y 56 m de altura.

Figura 16: Diseño Conceptual bench and fill

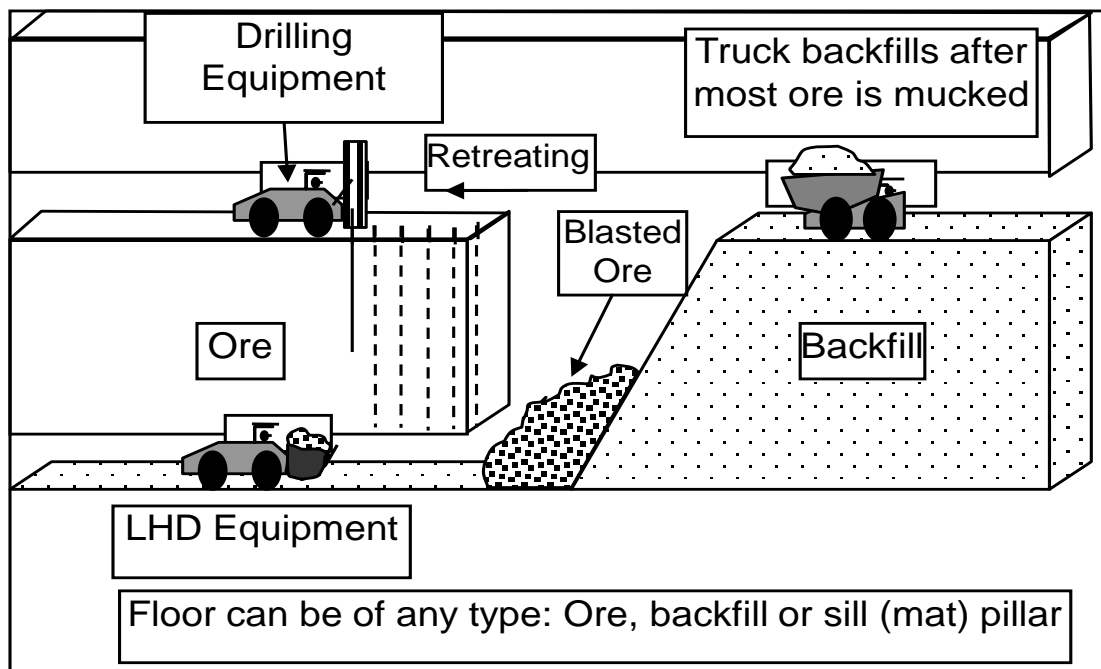


Fuente: Of. Planeamiento – Minsur

El avance del minado es horizontal con la perforación de taladros verticales y voladura vertical. La perforación se realiza con equipos tipo Simba; luego de cada voladura, el equipo de limpieza saca el mineral fragmentado. Como parte del ciclo de minado, una vez concluida la limpieza del mineral fragmentado, por el extremo opuesto proceden al relleno del espacio vacío, antes de continuar con la voladura siguiente.

El relleno considerado es principalmente detrítico. Rellenar hasta dejar un espacio vacío, para cara libre para la siguiente voladura, entre el mineral perforado y el relleno en sí.

Figura 17: Esquematiza el método de minado “Bench and Fill Stoping”



Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

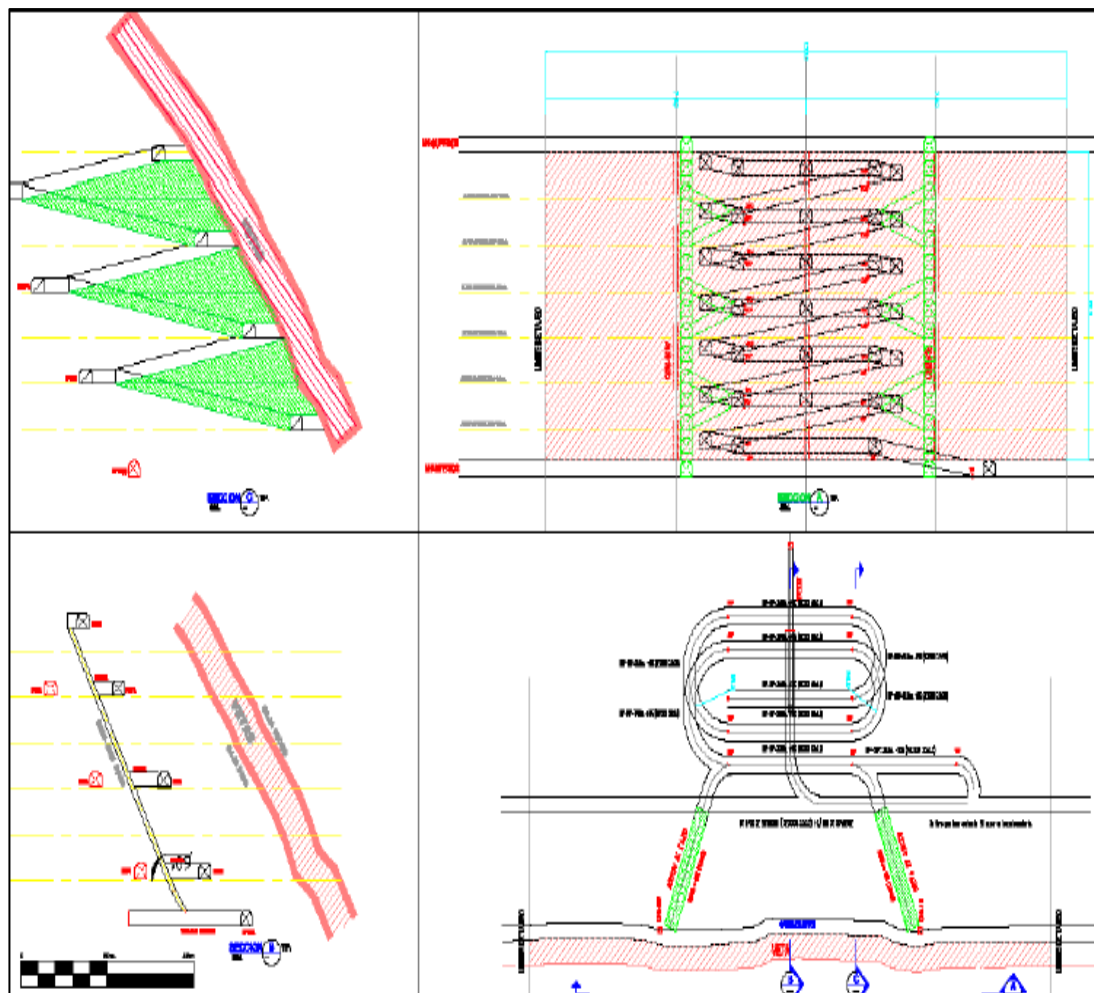
2.7.5 Cut and fill stoping (CAF)

Es aplicable preferentemente en estructuras con potencias de 3 a 10 m y con buzamiento mayor a 65°. En potencias menores puede ser también aplicable sin embargo su productividad sería muy pobre y se requeriría de equipos de menor envergadura para no generar sobre dilución.

La roca encajonante es generalmente de baja competencia y la roca mineralizada de baja a media. Es un método altamente selectivo y de baja productividad por lo que permite explotar cuerpos de baja regularidad y continuidad. Se ha considerado su posibilidad de aplicación en estructuras con potencias mayores a 3 m principalmente para potenciar la utilización de la flota general de equipos sin impactar la selectividad del método y para incrementar su productividad por disparo.

Las dimensiones conceptuales del block de minado son de 150 m de largo y 56 m de altura, como se aprecia en la figura 18.

Figura 18: Diseño conceptual cut and fill



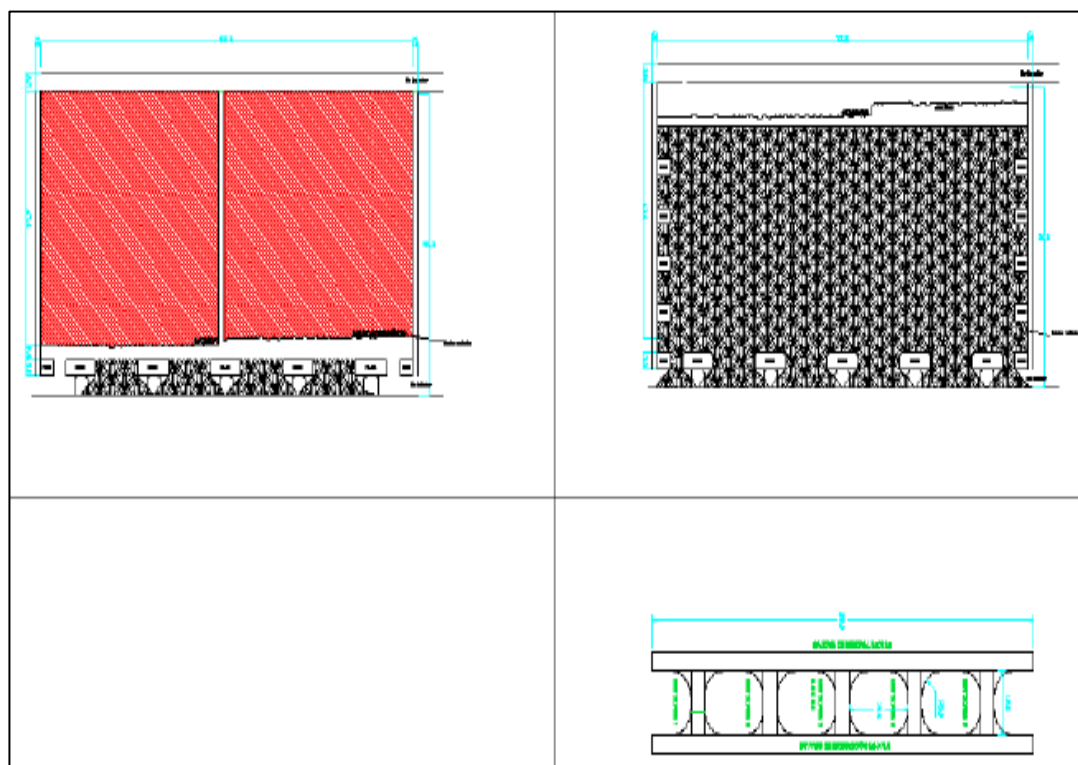
Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

2.7.6 Shrinkage stoping (SHRK)

En San Rafael se aprecian vetas con áreas importantes menores a 0.8 m de potencia cuyo minado por un método poco selectivo genera alta afectación en la dilución del material minado. Bajo esta consideración se ha visto por conveniente desarrollar el análisis este método que genera alta selectividad aún con muy baja productividad.

Para efectos comparativos se ha considerado su uso en estructuras con potencias menores a 2 m. Este método emplea el mineral para sostenimiento y a la vez como piso de minado durante todo el periodo de rotura y se extrae luego de cada voladura entre 30 y 40% de mineral que representa el factor de esponjamiento. Al final de las actividades de corte se extrae todo el mineral de manera indiscriminada por las ventanas inferiores hasta dejar el block totalmente vacío.

Figura 19: Diseño conceptual shrinkage stoping (SHRK)



Fuente: Of. Planeamiento – Minsur

En el caso de continuidad vertical entre niveles es necesario dejar un puente que permitirá no solo mantener la estabilidad de la zona sino también como piso del siguiente block; un aspecto similar se genera con los bloques laterales para lo cual se ha diseñado pilares intermedios. Estos pilares podrán ser recuperados al final del proceso productivo.

La dimensión conceptual del block de explotación es de 50 metros de largo y 56 metros de altura, como se aprecia en la figura 19.

2.8 Servicios complementarios básicos

2.8.1 Instalación de tolva metálica

La instalación de tolvas metálicas se realiza para que la descarga de mineral y/o desmonte a los volquetes de extracción sea de manera adecuada y eficiente. (Ver anexo 12).

2.8.2 Instalación de parrilla mecanizada con elementos

La instalación parrillas mecanizadas se realiza para seleccionar y no dejar pasar los bancos de mayor proporción (18" a más), debido a que estos bancos causan daños a la tolva metálica y camiones (Ver anexo 13).

2.8.3 Construcción de parapeto mecanizado

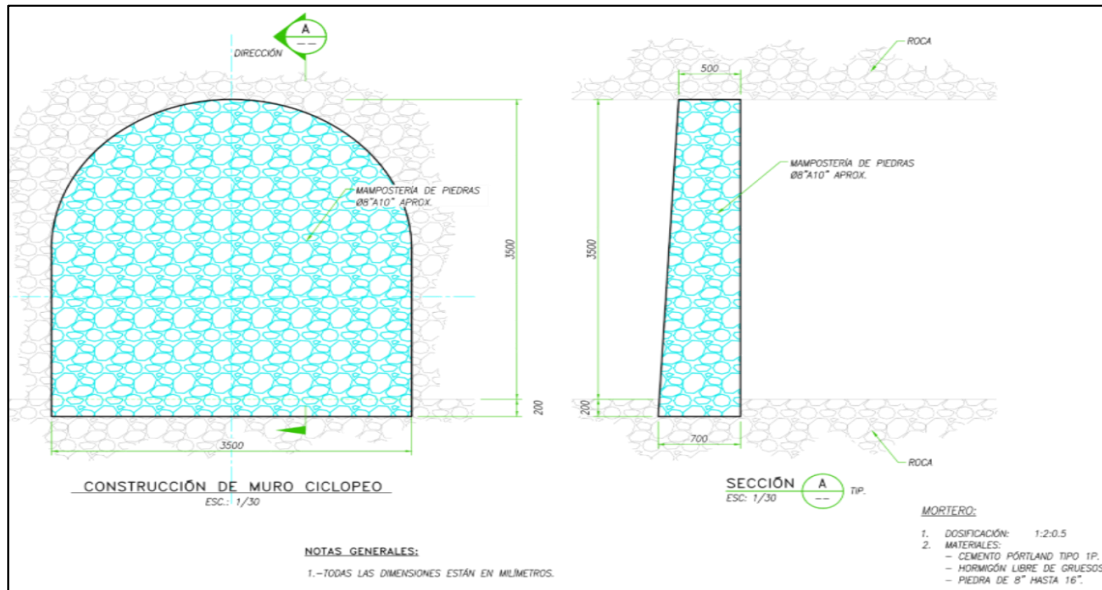
La construcción de los parapetos mecanizados consiste en armar una barrera (estructura y concreto) de seguridad para que el scooptram al momento de realizar el acarreo (traslado de carga al echadero), tenga la seguridad de mantener la distancia correcta frente al OP o transferencia (Ver anexo 14).

2.8.4 Construcción de muro ciclópeo

La construcción de muros ciclópeo se realiza para el cierre de un circuito de ventilación, evitando el pase de flujo de aire, vehicular y de personas hacia una labor no necesaria. Se tienen tres tipos

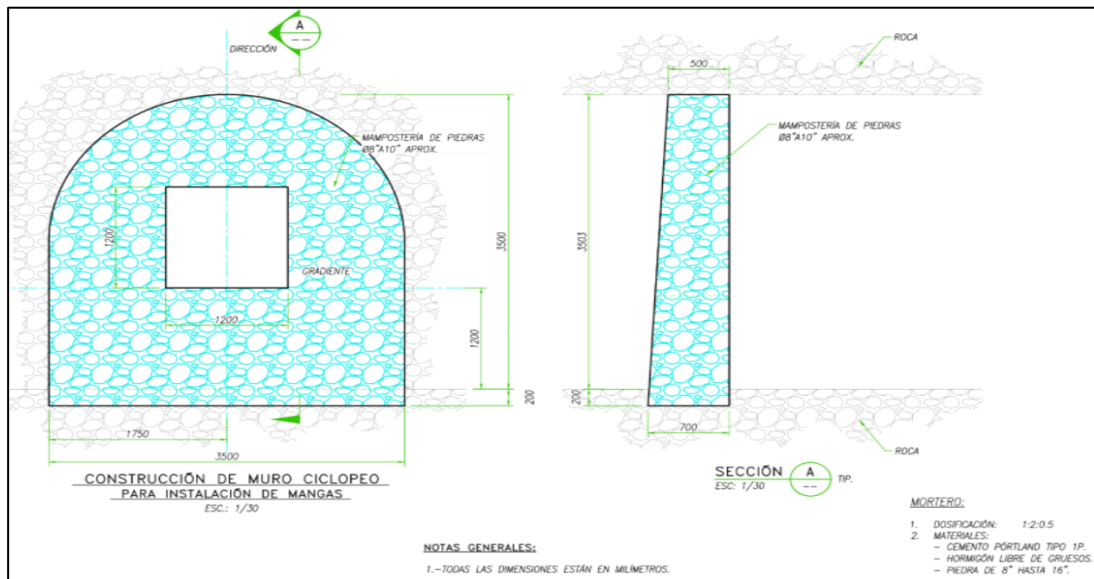
de muros ciclópeos (rígido, con ventana y con puerta). El rígido cerrara por completo el circuito, el de ventana cerrara el circuito pero se podrá instalar mangas de ventilación y/o un ventilador y el de puerta (estándar) será para cerrar el circuito de ventilación pero permitir el pase de personas.

Figura 20: Construcción de muro ciclópeo rígido



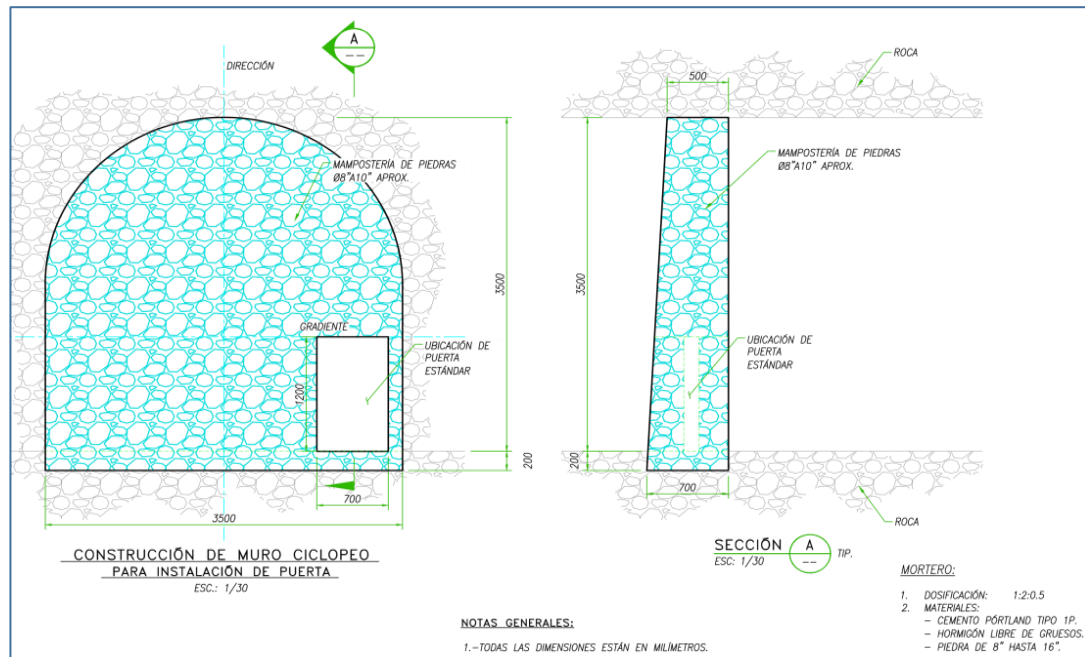
Fuente: Of. Planeamiento - EPCM Experts

Figura 21: Construcción de muro ciclópeo con ventana



Fuente: Of. Planeamiento - EPCM Experts

Figura 22: Construcción de muro ciclópeo con puerta



Fuente: Of. Planeamiento - EPCM Experts

CAPÍTULO III

APLICACIÓN Y RESULTADOS

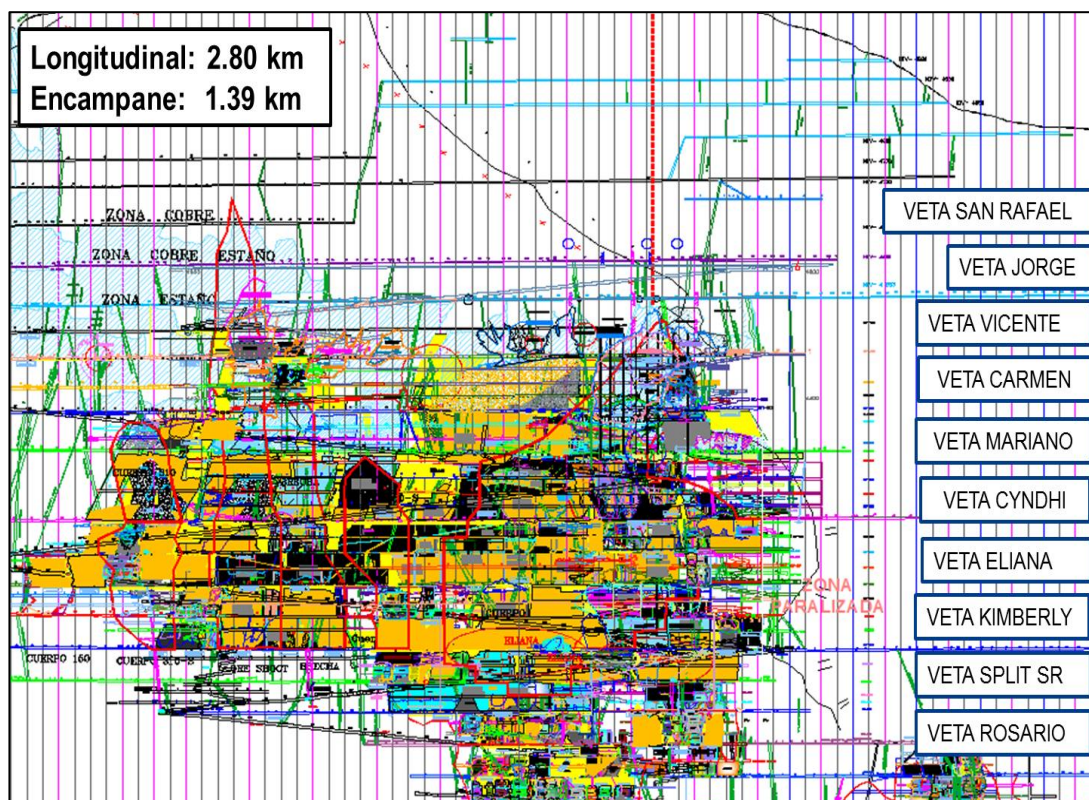
Para un mejor entendimiento de los resultados, procederé a detallar procesos fundamentales de la operación aplicados a los parámetros de los métodos de explotación de la Unidad Minera San Rafael.

En la actualidad las vetas principales que contienen la mayor parte de los recursos y reservas estimadas por Minsur en San Rafael son: San Rafael, Vicente y Jorge; como se muestra en la figura 26.

El método de minado actualmente empleado en San Rafael es Sub Level Stoping Longitudinal, Sub Level Stoping Transversal y Bench and Fill; esto a razón de las evaluaciones que se indicara en los detalles. Cabe mencionar que las zonas minadas son rellenas con relleno en pasta y/o detrítico según se aplique el método.

Así también, daré a conocer el comportamiento de los resultados respecto a los objetivos planteados.

Figura 23: Vista longitudinal de las vetas en San Rafael



Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

3.1 Descripción de fases en la operación minera de la Unidad Minera San Rafael

3.1.1 Exploración

En esta etapa se realizan labores horizontales con el objetivo de:

- Llegar a las proyecciones de las vetas o cuerpos para su posterior desarrollo.
- Posicionamiento para la ejecución de cámaras diamantinas, desde donde se proyectarán taladros de reconocimiento que confirmarán o descartarán la presencia de vetas y cuerpos en las proyecciones dadas.

3.1.2 Desarrollo

En esta etapa, se realiza para acceder a estructuras principales cámara para RB de ventilación, echaderos, etc. normalmente su ejecución se realiza en desmante.

3.1.3 Preparación

En esta etapa se desarrollan labores horizontales o verticales siguiendo la estructura de la veta o cuerpo que permiten y pueden ser paralelos a los desarrollos:

- Preparación de blocks de mineral que conformarán las zonas de explotación.
- Las labores de preparación están conformadas por chimeneas y subniveles.

3.1.4 Explotación

Es la etapa final en que se extrae en forma sistemática el recurso mineral preparado y cubicado en las zonas de trabajo llamadas “tajos”.

3.1.5 Tipos y diseño de labores mineras

3.1.5.1 Rampa de acceso

La rampa de acceso tiene una sección de 4.0 m x 4.0 m, gradiente positiva +10%. Esta labor es ejecutada entre los niveles, contará con cámaras de refugio cada 50 metros en línea recta y en curva.

3.1.5.2 Bypass

Los bypass son excavaciones perpendiculares a las ventanas y se desarrollan paralelo al rumbo del cuerpo mineralizado tienen una sección 3.5 m x 3.5 m, la gradiente promedio es de 0.5%.

Los bypass se deben de avanzar en paralelo a las galerías a una distancia promedio de 25 metros, teniendo en cuenta los criterios geomecánicos.

3.1.5.3 Accesos

Los cruceros son excavaciones horizontales y rampas positivas y negativas a +/-15% perpendiculares a la

estructura mineralizada que nos sirve de acceso para la extracción de mineral roto, la sección es de 3.5 m x 3.5 m.

3.1.5.4 Chimeneas slot

Labores verticales y perpendiculares a la galería de 2.4 x 2.4 tms que nos sirve para la cara libre en el momento de la voladura.

3.1.5.5 Galería y subnivel

Las galerías son paralelos a los bypass y se desarrollan dentro de la estructura mineralizada, estas tienen una sección de 3.2 m x 3.3 m con una gradiente promedio de 0.5%.

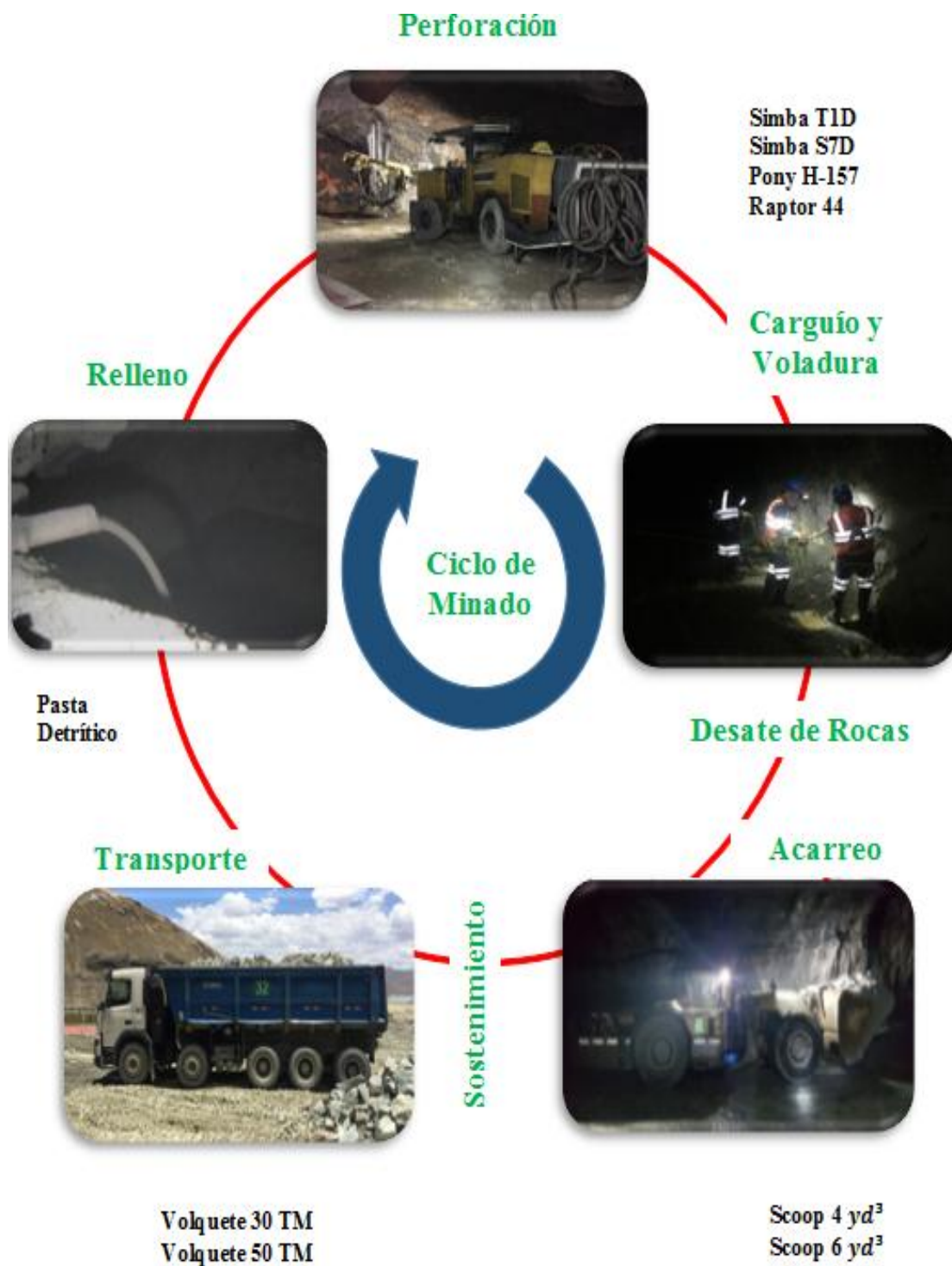
Subniveles son Labores intermedias a los niveles que son subsiguientes a las ventanas intermedias de 3.2 m x 3.3 m de sección y realizadas sobre la estructura.

3.2 Ciclo de minado

El ciclo de minado en la operación subterránea de mina San Rafael, está dado por el método de minado, los cuales cumplen una secuencia operativa, que conllevan a obtener los resultados previstos teniendo en consideración la seguridad y el costo de minado.

El ciclo en nuestro caso en particular se da a través de las siguientes etapas. Perforación, Voladura, Sostenimiento, Limpieza o Acarreo con scoop, Transporte, Relleno en Pasta, Drenaje, Bombeo y Ventilación (figura 24).

Figura 24: Ciclo de minado Unidad Minera San Rafael

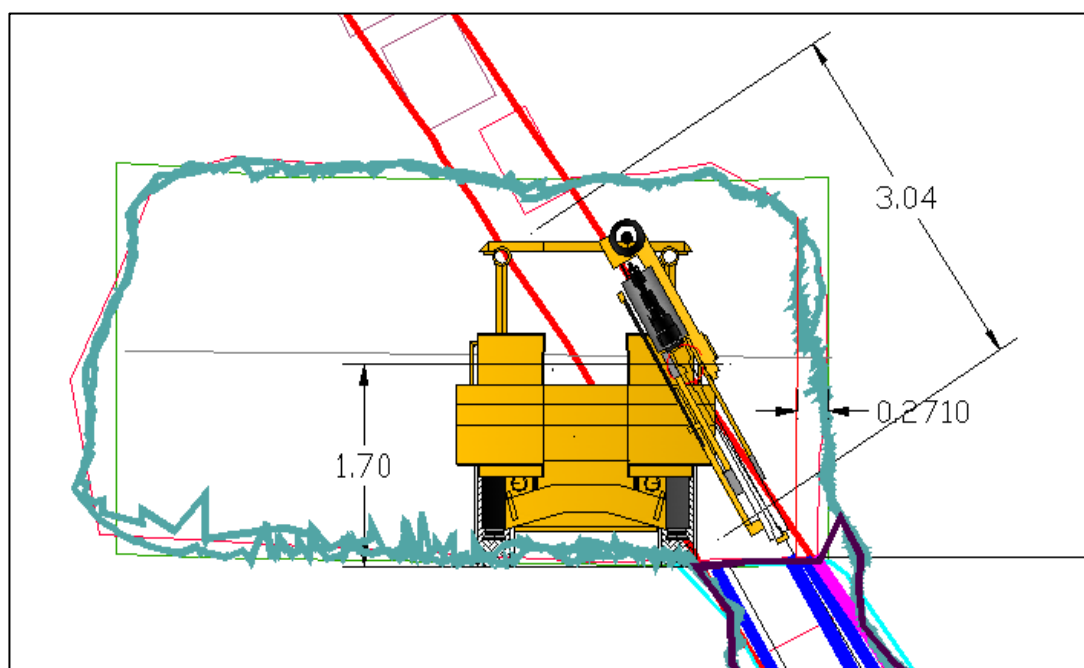


Fuente: Propia

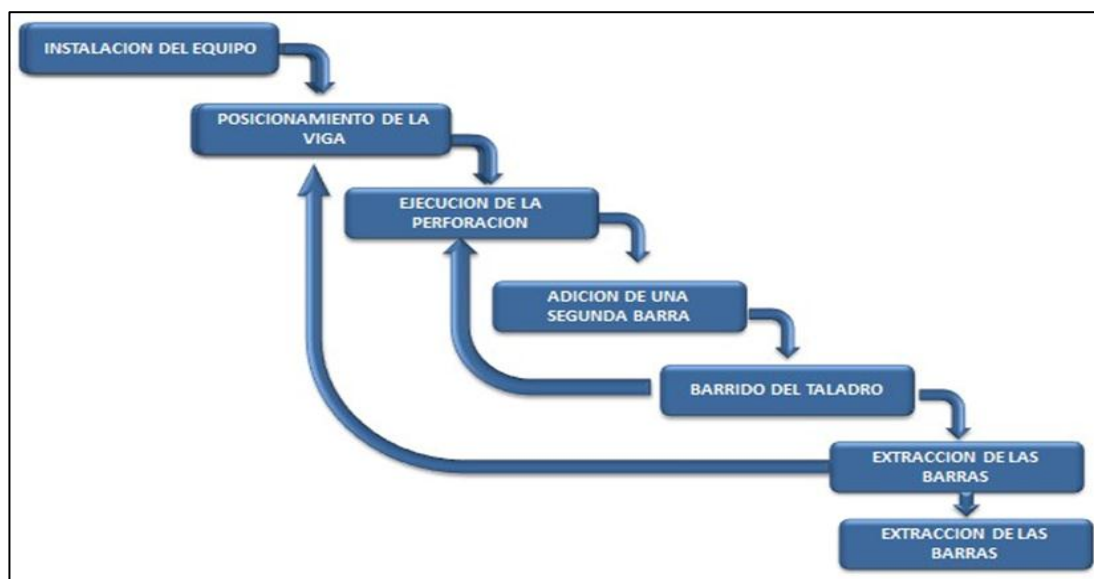
3.2.1 Perforación

Para el proceso de perforación la labor debe estar completamente acondicionada con sostenimiento e instalado los servicios considerando que el piso debe estar también bien raspado ya que contamos con equipos sofisticados como Simbas y Raptor (S7D, R44, H157, T1D). La malla de perforación varía de acuerdo a la potencia de la mineralización y del equipo de taladros largos, el rango del burden es para cuerpos (1.0-2.5) y para vetas es (0.80-1.3) metros. Al culminar la perforación se realiza un levantamiento topográfico para medir la desviación de taladros, en caso este desviado se procede a realizar un nuevo diseño y a perforar el taladro corregido, con la finalidad de asegurar la salida de los taladros hacia la cara libre y que no genere mayor dilución debido a la desviación, cuando los taladros estén correctos se procede a tapar los taladros para evitar que se entierren y se no pierda tiempo en el momento de carguío con explosivo de los taladros. Equipos con los que se realiza la perforación 7 jumbos de taladros largos (S7D-1, S7D-2, S7D-3, T1D-1, T1D-2, H-157 y R-44)

Figura 25: Equipo de perforación de taladros largos



Fuente: Propia

Figura 26: Ciclo del proceso de perforación de taladros largos

Fuente: Propia

3.2.2 Voladura de taladros largos

Los tipos de voladura que se tiene en Mina, son la voladura primaria que se considera a la voladura de los taladros largos con longitudes de 12.5 metros aprox. y la voladura secundaria se realiza mediante plasteos en el nivel base de extracción ubicado en una labor de acumulación con uso para este fin.

Para la perforación de chimeneas se tiene una malla con diseño diferenciado, La voladura de chimeneas se realiza con el método de VCR (vertical cráter retreat) se dispara por tramos de 5-12.5 metros esto sirve para hacer la cara libre y así se empiezan a disparar las secciones de producción, con examón, emulex y exagel para continuar con el minado del tajeo.

Para disminuir la sobrerotura se está implementando el uso de mayor cantidad de tubotacks, en base a un diseño de voladura de tal manera que se evite el error de desviación en el emboquillado, así también se hace el uso de tubos desacopladores, minimizando la carga operante del taladro; en algunos sectores donde la roca es incompetente se diseña la instalación de cable bolting, para reducir el descaje post voladura.

3.2.3 Desatado

Previa a la perforación de techo se realiza el desatado de rocas en el techo y los hastiales de forma mecanizada con equipos Scaler.

3.2.4 Acarreo de mineral y/o desmonte

La limpieza de mineral y desmonte en los tajeos y labores de avance se realizan con scooptrams de 4 y 6 yd^3 , se acarrea directamente a las cámaras de carguío y el transporte para ambos casos se realiza el transporte con volquetes 6x4, 8x4 y 10x4.

La limpieza del mineral roto producto de la voladura primaria es acarreado mediante un scooptrams de la marca Caterpillar o Atlas, la limpieza en tajos vacíos se realiza utilizando telemandos y refugios adecuados para resguardo del operador.

3.2.5 Sostenimiento

Los aspectos geomecánicos relacionados a las reservas y al plan de minado están orientados a determinar las aberturas máximas para los tajeos de explotación, el sostenimiento adecuado para garantizar la estabilidad física, control de la dilución geomecánica y otros aspectos relacionados a las particularidades de la Unidad, como son la sismicidad inducida y manejo del relleno de aberturas.

El sistema de discontinuidades más importante observado es el que tiene orientación NW, aproximadamente paralela a la estructura mineralizada. Así también, hay otro sistema de orientación NE y buzamiento elevado hacia el SE. Localmente se observan tres sistemas de discontinuidades acompañadas de menores discontinuidades aleatorias.

Existe un sistema de fallas locales, que atraviesa la estructura, sin ocasionar un desplazamiento notorio en esta; se ha podido observar un desplazamiento máximo de 1 m. y un ancho de falla

hasta 2 m. Este sistema tiene orientación EW y buzamiento al SW entre 70° y 80°. Su incidencia se observa en la etapa de producción, pues dan lugar a la formación de falsas cajas en el techo en una longitud de 10 m.

Estas zonas se empernan en los niveles de perforación de los tajos; pero en las zonas tajeadas ya no se pueden controlar; comprometiendo algunas veces la estabilidad del mismo by pass, por lo que hemos optado por utilizar cimbras y cuadros de madera para no paralizar la extracción y mantener la producción.

Para los trabajos de sostenimiento se utilizan 5 grúas Normet.

3.2.6 Extracción de mineral y/o desmonte

El transporte de mineral se realiza desde las zonas de carguío o tolvas ubicados en los diferentes niveles de extracción

3.2.7 Relleno en pasta y/o detrítico

El método de explotación es de Sublevel Stoping, los niveles principales están cada 50 m, y los niveles secundarios a 15 m entre los niveles principales, teniendo tajeos de 30 m de longitud y entre 1 a 10 m de ancho. Estas aberturas tienen que ser rellenadas para que cumplan la función de Pared auto estable (Pilar) y continuar con la secuencia de los tajos contiguos.

La resistencia requerida para cada tajo lo determina el área de Geomecánica, y puede variar entre 200 Kpa a 300 Kpa.

- La pasta es un fluido no Newtoniano, con alta concentración de sólidos.
- Se utiliza relave generado en la Planta Concentradora como componente principal.
- La pulpa de relave pasa por dos procesos de separación solido-liquido, para incrementar su contenido de sólidos.
- Se mezcla con cemento y escoria metalúrgica molida, para obtener una pasta con valores de resistencia a la compresión uniaxial, a un determinado tiempo de curado

Actualmente se vienen realizando pruebas con AMEC, para encontrar una nueva receta en pasta, para alcanzar así los 300 Kpa como mínimo, lo cual es requerido por Geomecánica para relleno de tajos.

3.3 Ventilación

3.3.1 Requerimiento de aire del circuito de ventilación

El requerimiento de aire establecido por la cantidad de equipos y personal en interior mina se encuentra distribuido de la siguiente manera:

Se efectuaron los cálculos de demanda de aire según el D.S. 023-2017 EM; para cubrir los requerimientos de aire fresco para el personal, temperatura, equipos diésel y fugas, que operan en interior de la mina.

El resumen y el detalle de Requerimiento de aire se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 10: Requerimiento de aire mina – año 2018

A. Caudal requerimiento por el número por el número de trabajadores (QTr)				
Cantidad mínima de aire		Cantidad		QTr
	m ³ / min	m ³	m ³ / min	pies ³ / min
	6	307	1,842	65,048
B. Caudal requerido por el consumo de madera (QMa)				
Factor de producción		Producción (T)		QMa
	m ³ / min	TMH / Gdía	m ³ / min	pies ³ / min
	0	1448	0	0
C. Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo (QTe)				
Niveles	Velocidad mínima de aire	Area Labor (A)		Q Ma
	m / min	m ²	m ³ / min	pies ³ / min
7	30	11.64	2,444	86,303
D. Caudal requerido por equipo con motor petroleo (QEq)				
Cantidad mínima de aire		Cantidad		QEq
	m ³ / min-HP	HP	m ³ / min	pies ³ / min
	3	12319.8	36,959	1,305,188
E. Caudal requerido por fugas (Qfu)				
Qt1=QTr+QMa+QTe+QEq			Qfu= 15% x Qt1	
	m ³ / min-HP		m ³ / min	pies ³ / min
	41,245		36,959	1,305,188

Fuente: Of. Ventilación - Minsur

3.3.2 Resumen de ingreso de aires fresco del sistema de ventilación

Al momento del levantamiento del sistema de ventilación se contaba con 9 puntos de ingreso de aire fresco los cuales son:

Tabla 11: Ingreso de aire fresco

Ingreso de aire fresco				
Nro	Nivel	Labor	Caudal m ³ / min	CFM
PV1	820	CH1945	117	4,125
PV2	820	CH1945	529	18,670
PV3	820	PQ.C	996	35,161
PV4	820	PQ.C	468	16,517
PV4A	820	RP387	5,150	181,861
PV5	820	CH1426	2,863	101,095
PV6	820	CH590	1,648	58,181
PV7	820	CH590	1,147	40,486
PV8	820	T. V.	375	13,236
Total			13,292	469,332

Fuente: Of. Ventilación - Minsur

3.3.3 Cobertura actual del sistema de ventilación

La relación que resulta de comparar el caudal de aire que ingresa a la mina con la demanda de aire determinados, resulta en una cobertura de 105.1%, es decir hay un superávit de 85,537 CFM.

Tabla 12: Cobertura de requerimiento de aire

Cobertura de requerimiento de aire (según D.S. N° 023-2017-EM)		
Descripción	m ³ / min	pie ³ / min
Requerimiento de aire total (Qto)	47,432	1,675,020
Ingreso de aire	49,853	1,760,557
Salida de aire	52,090	1,839,528
Supervit / deficit	2,423	85,537
Diferencia entre ingreso y salida de aire (%)		4.5%
Cobertura (%)		105%

Fuente: Of. Ventilación – Minsur

3.3.4 Plan de mejoramiento del sistema de ventilación

Ejecutar el CAPEX de adquisición de los ventiladores, sistema de ventilación proyecto Cyndhi 3950, automatización de ventiladores

y compra de silenciadores; las cuales beneficiaran al circuito de ventilación pudiendo aplicar cualquier método de explotación.

Programa de chimeneas del 2018 (ver anexo 30).

3.4 Costos de la Unidad Minera San Rafael

Toda la operación al final llegara a un indicador el cual nos muestre si es factible continuar con los trabajos programados, o que trabajos requieren de mayor cuidado como por ejemplo el relleno en pasta, así también poder identificar trabajos provenientes de las contratistas las cuales están excediendo lo presupuestado.

Tabla 13: Tabla de costos de la Unidad San Rafael

Consolidado Mina	UM	Costos Resumen Mina														
		Mes					Acumulado					2018				
		REAL	FRC 1Q	Var	%	PPTO	REAL	FRC 1Q	Var	%	PPTO	REAL	FRC 1Q	Var	%	PPTO
Costo de mina	K\$	4,369	4,166	203	5%	4,324	26,067	25,499	568	2%	25,729	51,305	50,810	495	1%	50,466
Desarrollos	K\$	483	314	169	54%	261	3,199	2,625	574	22%	1,578	4,758	3,701	1,057	29%	3,095
Preparaciones	K\$	1,151	1,241	-90	-7%	1,512	6,893	7,473	-581	-8%	8,852	15,942	16,736	-794	-5%	17,891
Exploraciones	K\$	1,467	1,359	108	8%	1,276	8,135	7,941	193	2%	7,609	15,995	16,164	-169	-1%	15,138
Servicios mina	K\$	583	695	-112	-16%	750	4,300	4,185	115	3%	4,504	8,080	7,853	227	3%	8,044
Mantenimiento mina	K\$	389	316	72	23%	307	2,009	1,853	156	8%	1,822	3,585	3,579	6	0%	3,548
Supervisión mina	K\$	297	242	55	23%	218	1,532	1,421	111	8%	1,365	2,946	2,777	169	169%	2,749
Mineral extraído mina	TME	82,826	88,500	-5,674	6%	87,300	519,756	533,205	-13,449	-3%	526,710	1,062,556	1,076,005	-13,449	-1%	1,062,150
Costo de mineralización	\$/TME	53	47	6	12%	50	50	48	2	5%	49	48	47	1	2%	48
Distribución mantenimiento	K\$	354	256	98	38%	254	1,605	1,508	97	6%	1,469	3,111	3,052	59	2%	2,997
Distribución energía	K\$	361	406	-46	-11%	432	2,366	2,396	0	-1%	2,601	4,627	4,840	-213	-4%	5,201
Costo total de mina	K\$	5,084	4,828	256	5%	5,010	30,038	29,403	635	2%	29,800	59,043	58,702	341	1%	58,664
Costo total de mina	\$/TME	61	55	7	13%	57	58	55	3	5%	57	56	55	1	2%	55

Fuente: Departamento de costos y presupuestos (U.M. San Rafael)

3.5 Geomecánica

La evaluación conceptual de diseño de tajos para las vetas principales como son San Rafael, Vicente y Jorge se presenta en la tabla 16 del presente informe.

Uno de los parámetros más importantes del comportamiento mecánico de las rocas, es la resistencia a la compresión no confinada de la roca

intacta (UCS). A la fecha se tienen pocas mediciones de laboratorio para las propiedades de resistencia y deformación de la roca intacta.

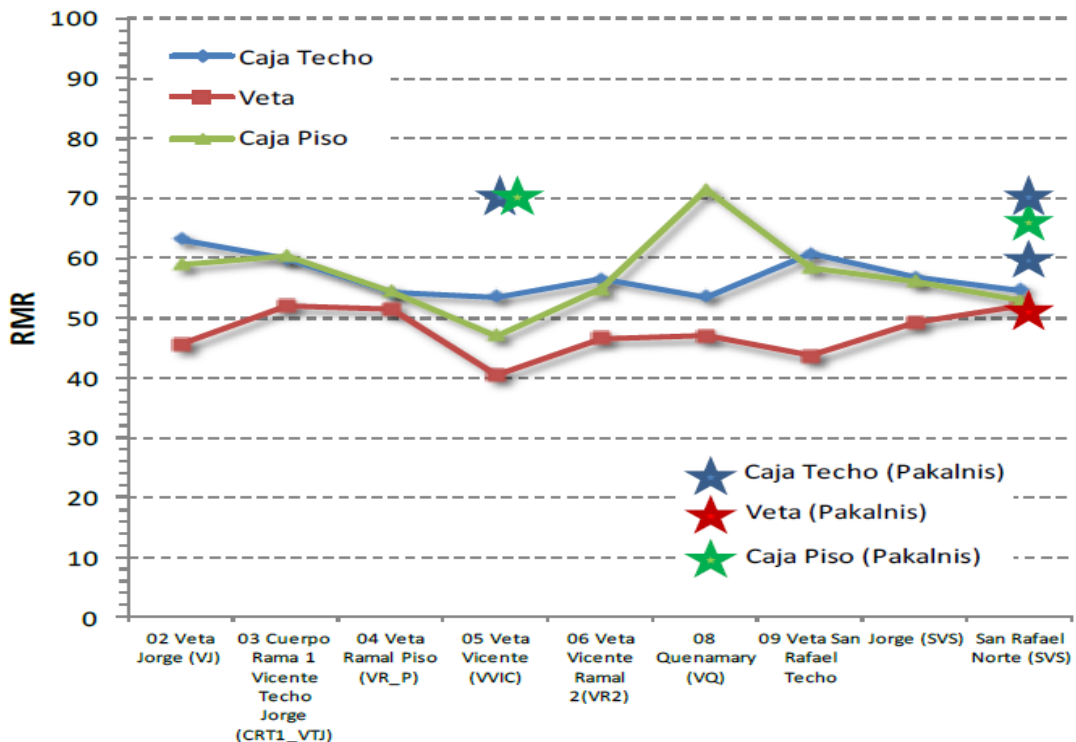
Para este informe se han asumido las siguientes propiedades:

- Caja Techo: 150 MPa
- Veta: 130 MPa
- Caja Piso: 160 MPa

3.5.1 Propiedades del macizo rocoso

Las evaluaciones de la calidad de macizo rocoso para las diversas zonas mineras se han basado en las clasificaciones realizadas durante el mapeo y logueo por MINSUR. Para la clasificación del macizo rocoso se utilizó los sistemas de Clasificación RMR76 de Bieniawski (1976), y Q de Barton (1974).

Figura 27: Resumen de valores promedios en RMR para cada veta (mapeado)



Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

Las propiedades del macizo rocoso para las vetas principales y sus respectivas rocas caja, son resumidas en la Tabla 16.

Considerar que otras vetas/cuerpos no mencionados en esta tabla, tendrán propiedades similares a la veta Jorge.

Tabla 14: *Propiedades generales de la roca intacta y del macizo rocoso*

Veta	Zona	UCS (MPa)	Clasificación	
			RMR 76	Q'
Jorge	Techo	150	62	7.4
	Veta	130	61	6.6
	Piso	160	64	9.2
San Rafael	Techo	150	60	5.9
	Veta	130	50	1.9
	Piso	160	60	5.9
Vicente	Techo	150	57	4.0
	Veta	130	47	1.3
	Piso	160	55	3.4

Fuente: *Of. Planeamiento - Minsur*

3.5.2 Dimensiones de tajos

Se utilizaron métodos de diseño empíricos para establecer los diseños por método de minado; estos intentan relacionar ciertas propiedades del macizo rocoso y algunos parámetros geométricos, con la estabilidad de la excavación, en base a antecedentes reales recopilados de distintas labores.

Se utiliza el método modificado de Mathew (Potvin, 1988), éste ha sido un método de diseño empírico muy popular para la minería. Este método utiliza modificaciones en el sistema de NGI-Q (Barton, et al., 1974).

El número de estabilidad modificado (N') se calcula al hacer ajustes en el valor Q;

$$N' = Q' \times A \times B \times C$$

Donde:

- A: es el factor de esfuerzos de roca
- B: es el factor de ajuste de orientación de estructuras
- C: factor de ajuste por gravedad

El factor “A” es generalmente igual a 1 para la caja techo y caja piso debido a que ésta se encuentra en un estado de relajamiento. Esto es debido a que el esfuerzo principal máximo será perpendicular a la caja techo y caja piso.

El factor “B” se considera la influencia de estructuras en la estabilidad de las paredes del tajo. El análisis es por fallas controladas estructuralmente que pudiesen ocurrir a través de estructuras críticas que forman un ángulo de manteo con respecto a la pared del tajo.

Tabla 15: Orientación estructuras y cajas de tajos para factor ajuste por estructuras

Veta	Zona	Veta Buz.	Discontinuidad	
			Buz.	Dir. Buz.
Jorge	Caja Techo	65	42	265
	Techo	65	45	265
	Caja Piso	65	52	75
San Rafael	Caja Techo	50-70	64	54
	Techo	50-70	31	232
	Caja Piso	50-70	64	54
Vicente	Caja Techo	55	64	54
	Techo	55	31	232
	Caja Piso	55	64	54

Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

El factor “C” está relacionado con los potenciales modos de falla por caída de bloques por gravedad, o desprendimientos asociados a lajamiento o descostramiento de roca producto de deslizamiento. Este tipo de falla depende del ángulo de inclinación de las caras del tajo y de la estructura.

3.5.3 Evaluación de dimensiones

Para cada cuerpo se calculó el rango de números de estabilidad y radios hidráulicos. En la tabla 18, se muestra los valores para tajos longitudinales para Jorge, San Rafael y Vicente. Se muestra las aberturas máximas para tajos longitudinales dado el radio hidráulico para cada veta, basado en el alto real (dado por el buzamiento de la veta) o ancho de la veta. Se puede ver que en la

mayoría de casos, se puede desarrollar tajos aislados mayores que 25 m en cada cuerpo.

Tabla 16: Factores de ajuste para N' (tajos longitudinales) estables sin soporte

Veta	Zona	Q'	A	B	C	N'	RH
Jorge	Caja Techo	7.4	1	0.2-0.3	5.2	7.7-11.5	5.4-6.3
	Techo (veta)	6.6	0.73	0.2-0.3	2	1.9-2.9	3.2-3.7
	Caja Piso	9.2	1	0.3	5.8	16.1	7.2
San Rafael	Caja Techo	5.9	1	0.2-0.3	4.6-5.2	5.4-9.2	4.8-5.8
	Techo (veta)	1.9	0.73-0.38	0.2-0.3	2	0.3-0.9	1.6-2.4
	Caja Piso	5.9	1	0.3	4.6	8.2	5.5
Vicente	Caja Techo	4.0	1	0.2-0.3	4.6-5.2	3.7-6.3	4.1-5
	Techo (veta)	1.3	0.73-0.38	0.2-0.3	2	0.2-0.6	1.4-2
	Caja Piso	3.4	1	0.3	4.6	4.7	4.5

Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

Tabla 17: Aberturas máximas de tajos aislados (longitudinales) estables sin soporte

Veta	Alto	H Real	Ancho	Largo Max (m)	
	m			800m	400m
Jorge	20	22	5	31	31
	14	15		76	76
San Rafael	20	26	5	20	29
	14	18		20	29
Vicente	20	23	5	17	23
	14	16		17	25

Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

Tabla 18: Aberturas máximas de tajos SLS (longitudinales) estables sin soporte

Veta	Alto	H Real	Ancho	Largo Max.
	m			m
Jorge	50	55	5	31
San Rafael	50	58	5	14
Vicente	50	58	5	12

Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

La tabla 19, muestra los valores para tajos primarios transversales, para veta San Rafael y Vicente. Se supone que la mayoría de los tajos primarios tendrá longitudes transversales de alrededor de 18 m (Vicente) y 12 m (San Rafael). Basado en los criterios de diseño conceptual, esto significa anchos transversales de alrededor de 12 m y 8 m para Vicente y San Rafael, respectivamente (es decir, $H2 = L / 1,5$).

Tabla 19: Factores de ajuste para N' (tajos transversales)

Veta	Zona	Q'	A	B	C	N'	RH
San Rafael	Paredes Largas	1.9	0.7	1.0	8.0	11.4	6.3
	Techo (veta)	1.9	0.4	1.0	2.0	1.5	2.9
	Paredes Cortes	5.9	1.0	0.3	4.6	8.2	5.5
Vicente	Paredes Largas	1.3	0.7	1.0	8.0	7.4	5.3
	Techo (veta)	1.3	0.4	1.0	2.0	1.0	2.5
	Paredes Cortes	4.0	1.0	0.3	4.6	5.6	4.8

Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

Tabla 20: Aberturas máximas de tajos primarios (transversales) estables sin soporte

Veta	Zona	Alto m	Ancho m	Largo/Ancho Max. m
San Rafael	Paredes Largas	14.0		122.0
	Techo (veta)		8.0	21.3
	Paredes Cortes	16.2		35.2
Vicente	Paredes Largas	14.0		45.2
	Techo (veta)		12.0	8.7
	Paredes Cortes	16.2		23.6

Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

3.6 Selección del método de minado

Para cada método se establecieron condiciones de aplicabilidad de manera conceptual como se muestra en la tabla 21, que permita determinar las zonas específicas en las que se podrían emplear.

Tabla 21: Métodos de minado en relación a las condiciones de terreno

Descripción	Metodo Minado	Soporte	Dirección Minado	Calidad de roca	Pot	Dilución	Recuperac	Dimensión
Semi-Masivo	Sub-Level Stopping	Relleno en pasta	Tajo longitudinal	Cajas y mineral competentes (2B)	Menor a 10m	Mayor a 20%	< 85%	100xAx56 (LxAxH)
	Sub-Level Open Stopping	Pilares	Tajo longitudinal	Cajas y mineral competentes (2B)	Menor a 5m	Mayor a 20%	< 80%	100xAx56 (LxAxH)
	Sub-Level Stopping transversal	Relleno en pasta	Tajo transversal	Cajas y mineral competentes (2B)	Mayor a 10m	Entre 5 y 15%	> 85%	(A/1.5)xAx56 ó (A/2)xAx56
	Bench and Fill Stopping (Avoca)	Material detritico	Tajo longitudinal	Cajas y mineral calidad media.	Menor a 5m	Entre 15% y 20%	< 85%	210xAx56 (LxAxH)
	Shrinkage Stopping	Material detritico	Tajo longitudinal	Cajas y mineral competentes (2B)	Vetas angostas menor a 2 m	Menor a 15%	< 80%	70xAx56
Selectivo	Cut and Fill Stopping	Material detritico ó pasta	Tajo longitudinal	Caja de baja competencia (4A) y mineral de baja a media (3B)	Mayor a 3m	Entre 10% y 15%	> 85%	150xAx56

Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

3.7 Estimación de reservas

En la estimación de las reservas de San Rafael, MINSUR discrimina los bloques de explotación con una ley de corte para los tajos con el código MZ, y diferentes para los pilares costilla (PC) y los puentes (PS); estos dos últimos no son declarados como reservas pero su estimación indica su consideración como recursos minables y estos por ser de ubicación indeterminada también ingresaron en la primera etapa del proceso comparativo de los métodos de minado

Tabla 22: Asignación de métodos por veta y zona para comparación

Codificación	Ley de Corte	Recuperación minera.
MZ	0.82	0.90
PC	1.30	0.68
PS	1.28	0.51

Fuente: Of. Planeamiento – Minsur

Tabla 23: Reservas calculadas por MINSUR

Clasificación	t	% Sn/t	Finos Sn (t)
MZ	4,621,713	1.85	85,726
PC (recuperación)	552,544	2.11	11,657
PS (recuperación)	522,148	2.80	14,646
Total general	5,696,406	1.97	112,029

Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

3.8 Cálculo de la utilidad operativa y análisis comparativo

Una vez estimados los nuevos valores de tonelaje y ley de los blocks para cada método de minado por estructura se inició la valorización en base al valor de utilidad operativa considerando que los valores de dilución afectan de manera diferenciada solo en los costos de las actividades de acarreo, transporte, relleno y procesamiento.

Para el cálculo del valor de utilidad operativa tuvieron en consideración los parámetros que se indican en la tabla 24, teniendo como base los tonelajes y leyes calculados para cada método de minado.

Tabla 24: Parámetros económicos de venta de estaño

Concentración		
Recuperación de Sn		90%
Ley del concentrado		55%
Fundición y refinación		
Recuperación de Sn		95%
Ley del refinado		100%
Valor de venta		
Precio	US\$/tref	22,000

Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

3.8.1 Análisis comparativo – escenario inicial

Los costos operativos desagregados estimados para cada uno de los métodos aplicados actualmente en San Rafael y para los métodos de minado propuestos se presentan en la tabla 25.

Tabla 25: Parámetros económicos desgregados

Descripción		SLSC	SLSV	SLST	SLOS	BAF	CRAM	SHK
Perforación	US\$/t	1.22	5.75	1.07	5.55	4.58	5.79	4.47
Voladura	US\$/t	1.49	1.16	1.19	1.12	1.58	1.45	4.56
Acarreo	US\$/t	0.98	0.97	0.94	0.94	0.94	2.30	2.13
Transporte	US\$/t	2.50	2.47	2.39	2.39	2.39	2.39	2.39
Relleno	US\$/t	5.24	5.19	5.01	0.00	1.99	2.05	0.00
Sostenimiento	US\$/t	0.82	0.81	0.78	0.78	1.44	1.26	0.47
Mano de Obra	US\$/t	1.03	2.94	0.51	2.84	2.11	3.09	11.93
Otros	US\$/t	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Producción Mina	US\$/t	13.29	19.30	11.90	13.64	15.04	18.34	25.96
Desarrollo	US\$/t	6.81	6.81	6.81	6.81	6.81	6.81	6.81
Preparación	US\$/t	4.09	40.45	4.79	40.45	38.39	13.38	32.87
Servicios Mina	US\$/t	20.64	20.64	20.64	20.64	20.64	20.64	20.64
Supervisión Mina	US\$/t	2.44	2.44	2.44	2.44	2.44	2.44	2.44
Mantenimiento Mina	US\$/t	6.66	6.66	6.66	6.66	6.66	6.66	6.66
Costo Total de Mina	US\$/t	53.93	96.30	53.24	90.64	89.98	68.27	95.38

Fuente: Of. Mina - Minsur

En este escenario se utilizaron los bloques que corresponden a las reservas probadas y probables declaradas por San Rafael. En

este escenario se utilizaron los bloques que corresponden a las reservas probadas y probables declaradas por San Rafael.

Los resultados de la comparación entre las utilidades operativas obtenidas aplicando los diferentes métodos de minado para cada una de las zonas, sugieren la distribución porcentual de aplicación de los métodos de minado que se muestra en la tabla 26.

Tabla 26: Distribución porcentual de métodos de minado - Escenario inicial

Método de minado	Incidencia (%)
Sublevel Stoping Transversal	31%
Bench and Fill (Avoca)	30%
Sublevel Stoping Longitudinal	24%
Sublevel Open Stoping	7%
Cut and Fill	7%
Shrinkage	1%
Total	100%

Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

Una vez definidos los métodos de minado más adecuados para cada veta y zona, se elaboró un plan de minado LOM considerando la misma secuencia establecida por el LOM del caso base establecido por MINSUR y exclusivamente con las reservas calculadas.

Tabla 27: Plan LOM con reservas calculadas en MINSUR – Línea base escenario inicial

Método	Unidad	2014	2015	2016	2017	2018	Total t	Ton Sn Fino
SLS	t	543,043	1,037,669	1,055,600	1,055,600	929,801	4,621,713	85,704
	Sn (%)	2.37	2.19	1.78	1.70	1.45	1.85	

Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

Con la aplicación de los métodos de minado propuestos y seleccionados para cada zona.

Tabla 28: Plan LOM con nuevos métodos de minado – Escenario inicial

Metodo	Unidad	2014	2015	2016	2017	2018	Total t	Sn Fino t
BAF	t	170,951	406,520	326,926	394,713	148,364	1,447,474	32,084
	Sn (%)	2.50	2.69	1.98	1.92	1.92	2.22	
CAF	t	28,689	79,249	43,283	181,328	10,557	343,106	6,135
	Sn (%)	1.557	1.745	1.529	1.880	2.214	1.79	
SHK	t			23,482	14,248	20,269	57,998	1,440
	Sn (%)			2.07	1.72	3.49	2.48	
SLOS	t	13,965	92,344	64,531	184,914		355,753	7,099
	Sn (%)	2.36	2.56	2.30	1.58		2.00	
SLSC	t	166,320	130,817	153,342	113,040	212,607	776,126	14,552
	Sn (%)	2.61	1.44	1.76	1.98	1.59	1.87	
SLSV	t	14,468	102,462	78,137	23,233	52,070	270,371	6,406
	Sn (%)	3.45	2.71	2.08	1.74	2.11	2.37	
SLST	t	142,131	247,843	384,887	168,953	296,858	1,240,672	17,988
	Sn (%)	1.57	1.50	1.54	1.26	1.34	1.45	
Total	t	536,525	1,059,235	1,074,588	1,080,428	740,725	4,491,501	85,704
	Sn (%)	2.26	2.18	1.80	1.75	1.65	1.91	

Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

Con el propósito de definir la mejor alternativa integral se elaboraron dos flujos de caja, teniendo como base el modelo desarrollado. El primer flujo de caja integra el LOM del caso base mientras que el segundo flujo se realizó en base al LOM elaborado con la aplicación de los métodos de minado con mejor valor de utilidad operativa para cada zona de la mina.

Se aplican los siguientes parámetros económicos:

- Recuperación de Concentrado Sn – 88%
- Recuperación de Refinación Sn – 95%
- Precio de Sn – 22,500 US\$/tmf
- Premio ponderado por venta de las barras – US\$500/tmf
- Costo de fundición de Sn – 148 US\$/tconc
- Costo de refinación de Sn – 29 US\$/tconc
- Costo de flete – 39 US\$/t
- Pérdida de concentrado – 0%
- Ley de concentrado Sn – 55 %
- Tasa de participación de trabajadores 8%
- Tasa de impuesto a la Renta 30%

- Tasa de descuento 12.5%.

3.8.2 Análisis de sensibilidad – escenario adicional

Para estimar la sensibilidad económica con la inclusión de recursos inferidos tanto para el caso base como para el caso con la aplicación de los métodos de minado propuestos, se generaron cambios en: los precios de los metales y en la tasa de descuento, se realizó análisis de sensibilidad del valor presente neto (VPN). Los resultados de sensibilidad para ambos casos se presentan en las tablas 29 y 30.

El análisis de sensibilidad muestra que el precio del metal ejerce una fuerte influencia en la economía del proyecto generando para una variación de +/-US\$ 2,000 en el caso base una variación de +/- 23% mientras que para el caso con métodos de minado alternativos de +/- 18%.

Tabla 29: Sensibilidad valor actual neto tasa y precio variable – escenario adicional caso base + recursos inferidos

Alternativa LOM San Rafael					
Precio	Tasa de descuento				
(\$/tmf)	10.5%	11.5%	12.5%	13.5%	14.5%
26,000	487	471	456	442	428
24000	410	396	384	371	360
22000	332	321	311	301	291
20000	253	245	237	229	221
18000	172	166	161	155	150

Fuente: Of. Planeamiento – Minsur

Tabla 30: Sensibilidad valor actual neto tasa y precio variable – escenario adicional caso métodos alternativos + recursos inferidos

Alternativa LOM San Rafael					
Precio	Tasa de descuento				
(\$/tmf)	10.5%	11.5%	12.5%	13.5%	14.5%
26,000	600	58	566	550	535
24000	521	506	491	477	464
22000	441	428	416	404	392
20000	360	350	339	330	320
18000	279	271	263	255	247

Fuente: Of. Planeamiento - Minsur

La comparación entre los VPNs de ambos casos, donde se incluye la totalidad de los recursos inferidos, indica que la aplicación de un correcto método de minado en los tajos de explotación genera la posibilidad de una mejora de US\$ 104.9 M en el VPN de San Rafael.

CONCLUSIONES

- Se logra detallar el ciclo de minado (perforación, voladura, acarreo, sostenimiento, transporte y relleno) en los diferentes métodos de explotación para taladros largos, identificando las demoras operativas en cada proceso; cumpliendo con la seguridad y el cuidado del medio ambiente.
- Se consigue describir y comparar los métodos de explotación, considerando los distintos tipos de estructuras y zonas de yacimiento de la Unidad Minera San Rafael; identificando así el método que genere mejor valor económico para la operación minera. Se tiene la tendencia del análisis comparativo entre el caso base y los métodos que se presentan como mejores alternativas en orden de aplicación de métodos de minado.

Base

Método de minado	Incidencia (%)
Sublevel stoping transversal	31%
Bench and Fill (Avoca)	30 %
Sublevel stoping longitudinal	24%
Sublevel open stoping	7%
Cut and Fill	7%
Shrinkage	1%
Total	100%

Pos análisis de alternativas

Método de minado	Incidencia (%)
Bench and Fill (Avoca)	36 %
Sublevel stoping transversal	28%
Sublevel stoping longitudinal	18%
Cut and Fill	11%
Sublevel open stoping	7%
Total	100%

RECOMENDACIONES

- Se recomienda mantenerse actualizado en las nuevas tecnologías mineras, para maximizar los diferentes procesos de la operación como: Perforación, voladura, acarreo, transporte y relleno en pasta en la Unidad Minera San Rafael Minsur S.A.
- Es recomendable realizar el minado en un solo nivel (longitudinal) y no en distintos niveles en los diferentes métodos de explotación; porque al realizar el minado en varios niveles eleva el porcentaje de la dilución.
- Se recomienda realizar una infraestructura adecuada para cada método de minado, debido a que un mal diseño ocasionara demoras operativas en la perforación, acarreo y transporte.

BIBLIOGRAFÍA

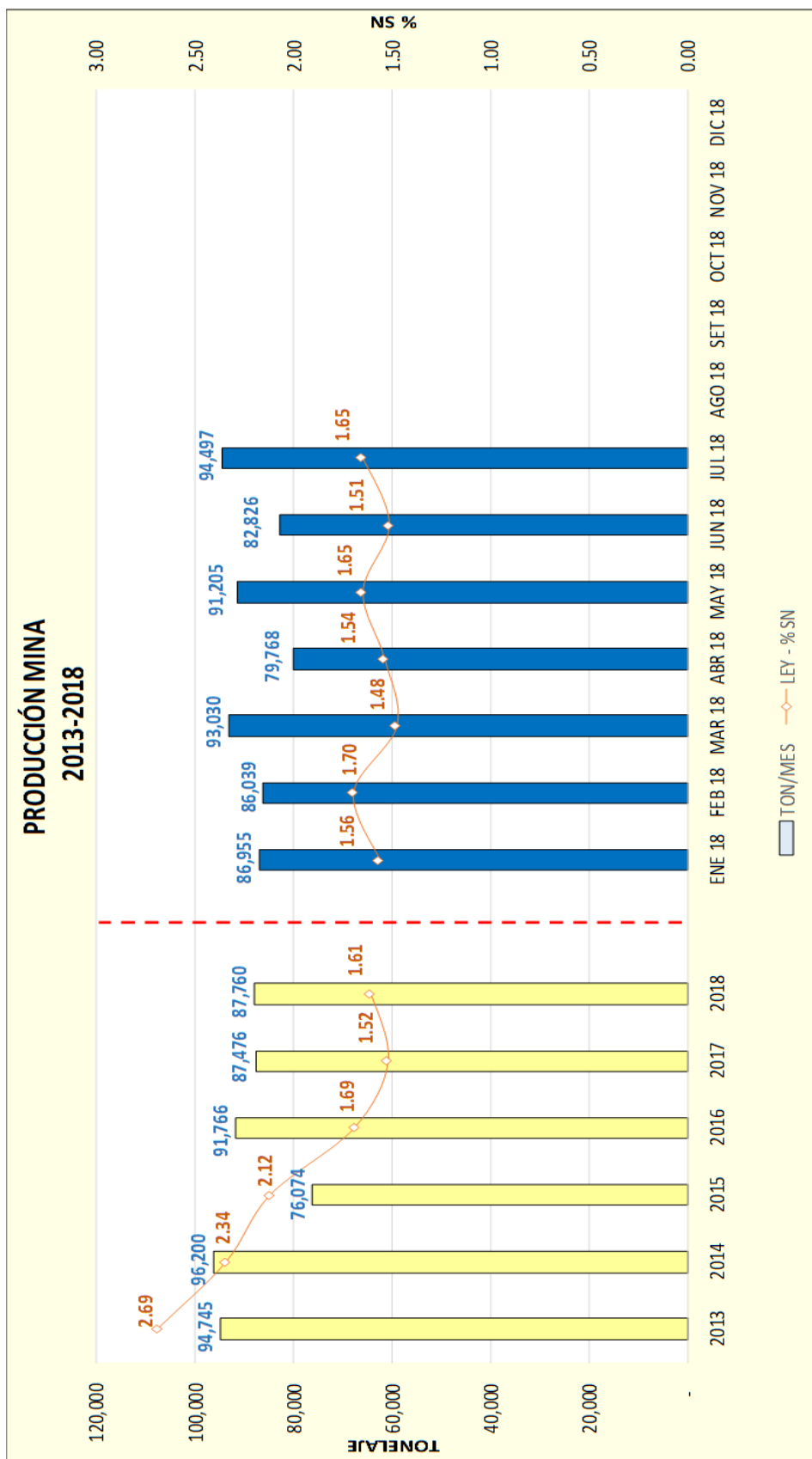
- Ing. Braulio Castillo Anyosa, (Mayo 2015), Perú. Método explotación subterránea: sublevel stoping.
- EXSA S.A, (2011), Perú, Voladura subterránea.
- Unidad Minera San Rafael, (2018), Perú, Plan de minado
- SANDVIK, (2013), Perú, Manual de perforación y voladura en taladros largos.
- Unidad Minera San Rafael, (2018), Perú, Oficina de geomecánica.
- Unidad Minera San Rafael, (2018), Perú, Oficina de ingeniería y planeamiento.
- Unidad Minera San Rafael, (2018), Perú, Oficina de perforación y voladura.
- Unidad Minera San Rafael, (2018), Perú, Oficina de productividad.
- Unidad Minera San Rafael, (2018), Perú, Oficina de ventilación.
- Unidad Minera San Rafael, (2017), Perú, Reporte trade-off-métodos.

ANEXOS
Anexo 1: Indicadores productividad mina

NOMBRE - INDICADOR	FORMULA	UM	SETIEMBRE		ACUMULADO 2018		2018 Ppto
			Real	Ppto	Real	Ppto	
PERFORACION							
Velocidad de Perforación	Metros Perforados / Hora Efectiva	m/h	23.0	18.0	22.6	18.0	125% ●
Eficiencia de Perforación	Toneladas Rotas / Metro Perforado	TMR/m	2.41	1.85	2.26	1.85	122% ●
Uso de la Disponibilidad del Equipo	Horas efectivas Trabajo / Horas Disponibles	%	43%	45%	45%	45%	99% ●
VOLADURA							
Factor de Potencia (Explotación, Voladura Primaria)	Kg Explosivo / Tonelada Rota	kg/t	0.79	0.74	0.70	0.74	105% ●
Factor de Carga Lineal (Total Avances)	Kg Explosivo / Metro Avance	kg/m	28.39	32.71	30.01	32.7	109% ●
Granulometría de Voladura P80 C-1	P80	Pulg.	5.36	8.0	5.4	8.0	149% ●
CARGUO Y ACARREO DE MINERAL / DESMONTE							
Eficiencia del Carguío y Acarreo	Toneladas / Hora Efectiva	TM/h	70.3	62.0	67.0	62.0	108% ●
Uso de la Disponibilidad del Equipo	Horas Efectivas Trabajo / Horas Disponibles	%	65%	60.0%	63%	60.0%	104% ●
TRANSPORTE DE MINERAL / DESMONTE							
Eficiencia del Transporte (TKPH)	(Tonelada x Kilometro) / Hora Efectiva	TKPH	148	176	144	176	82% ●
Uso de la Disponibilidad del Equipo	Horas Efectivas Trabajo / Horas Disponibles	%	71%	65%	69%	65%	106% ●

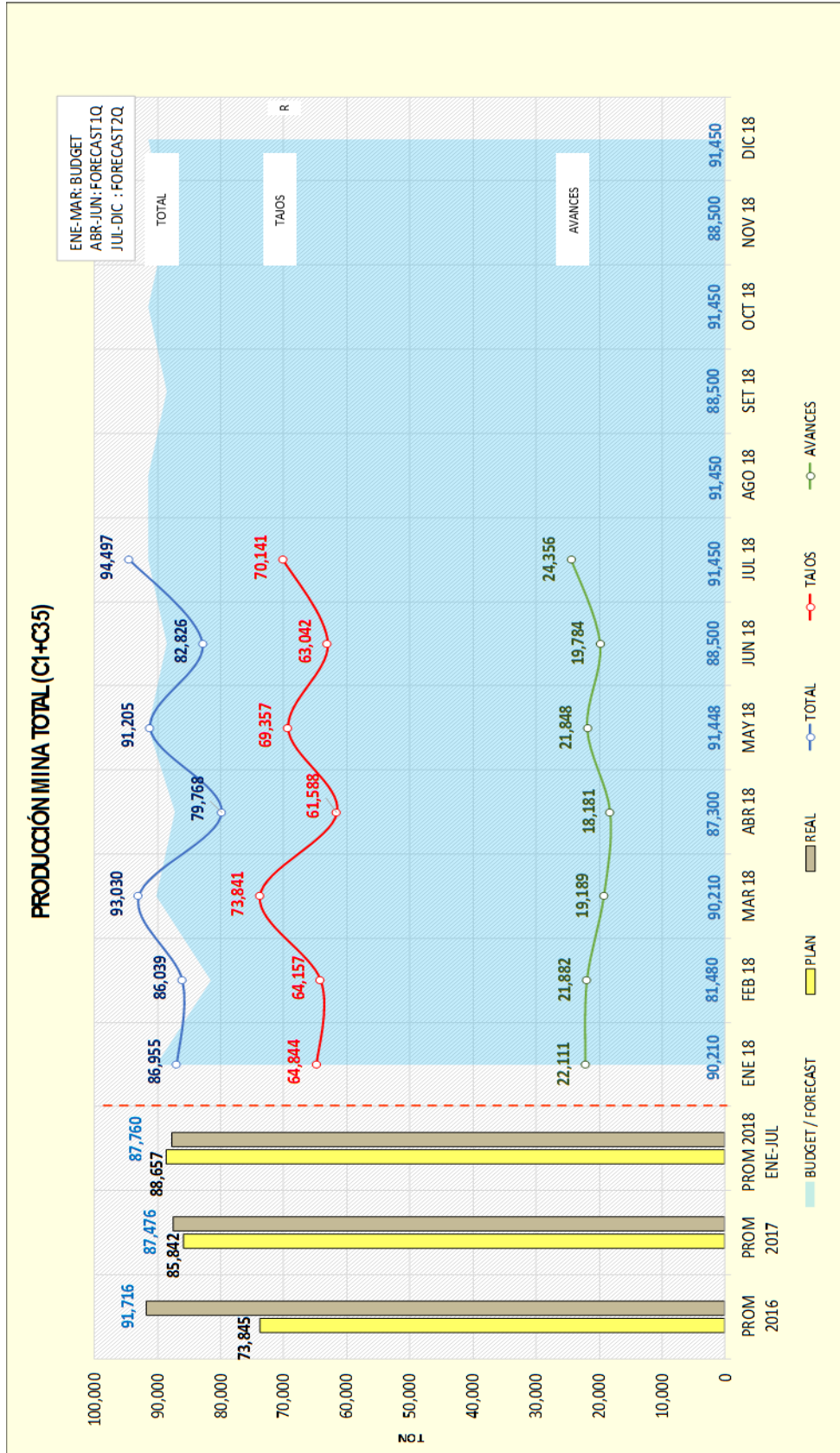
Fuente: Propia

Anexo 2: Producción mina - Histórico



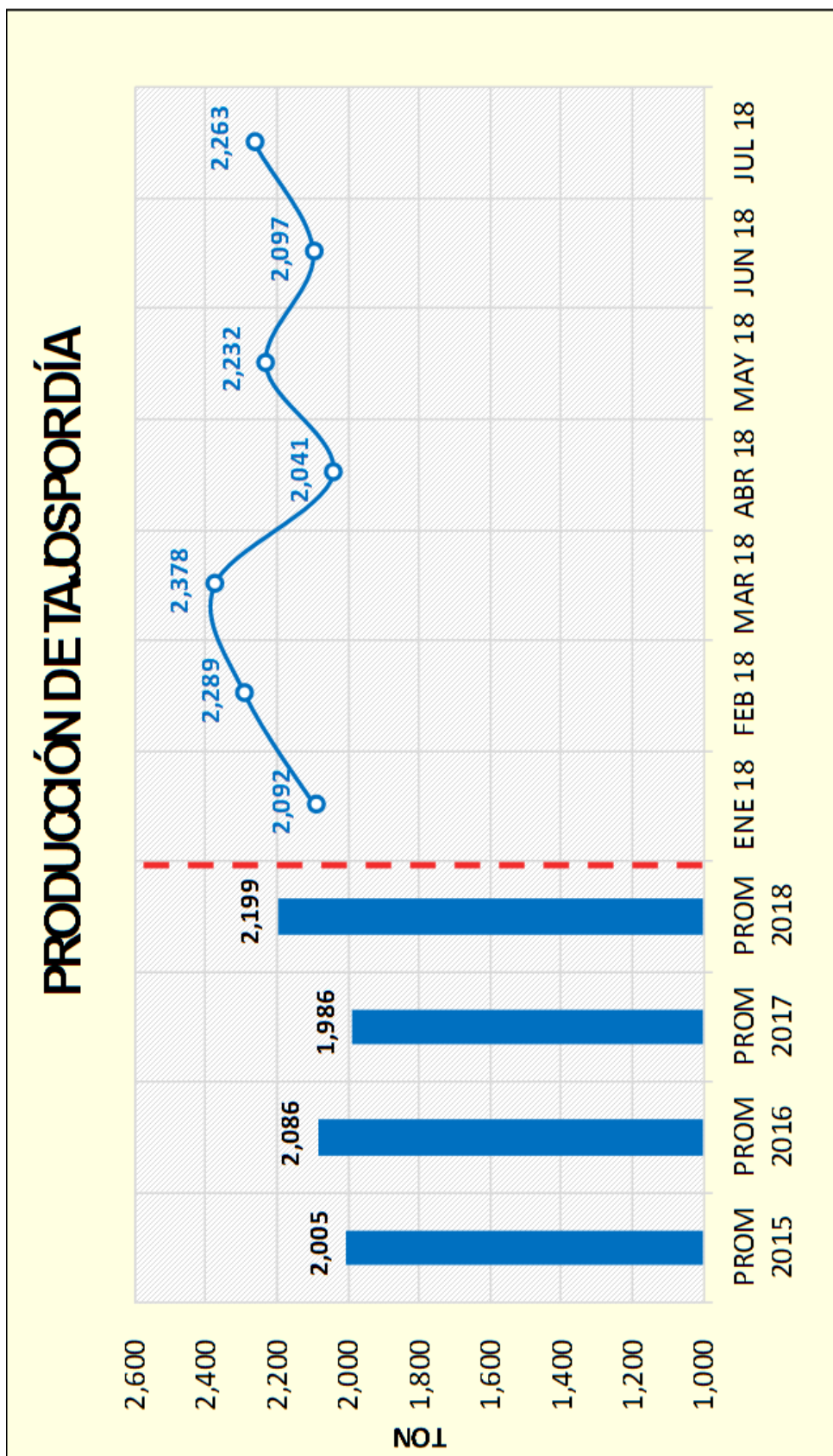
Fuente: Propia

Anexo 3: Producción mina disgregado - Histórico



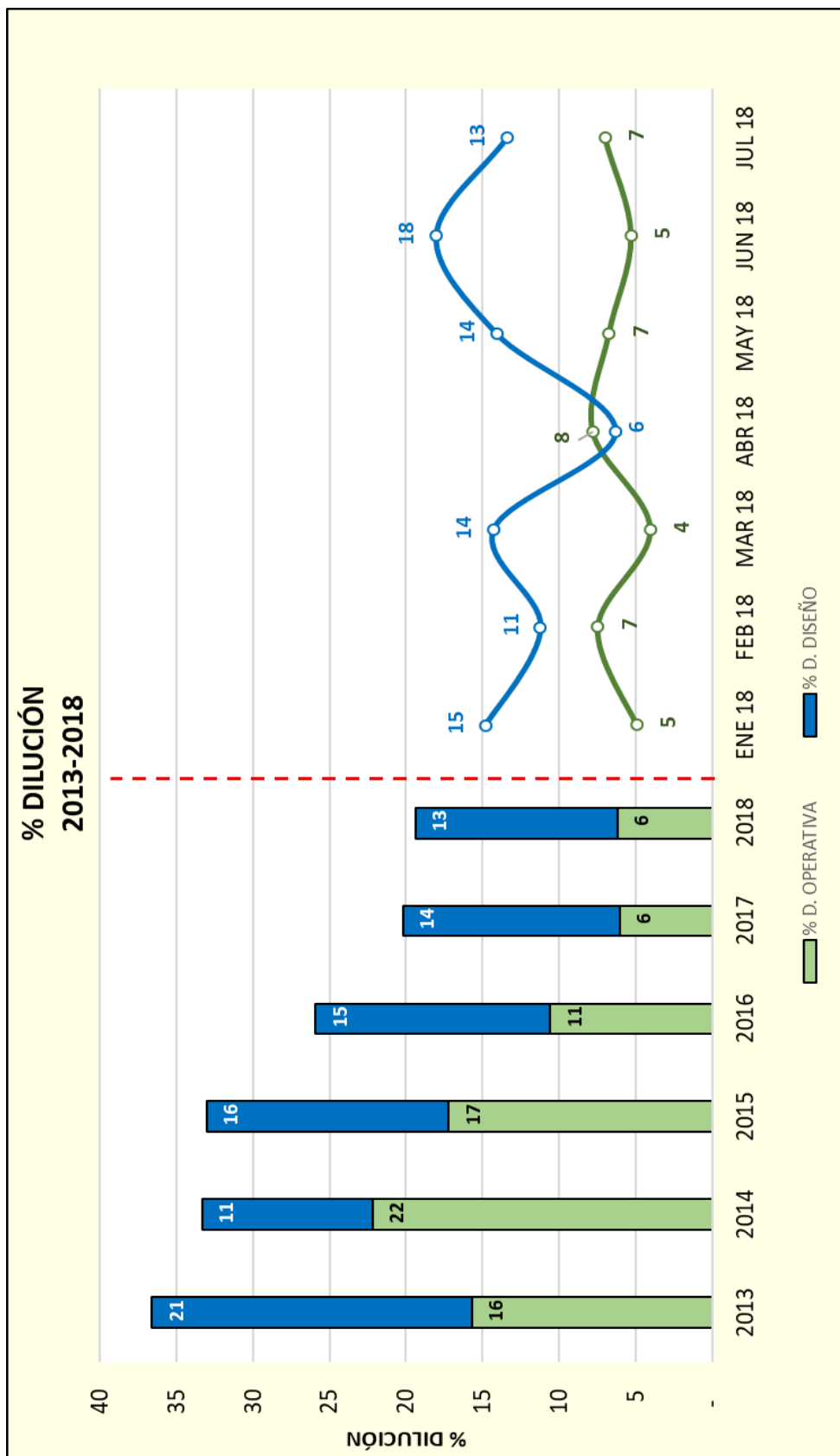
Fuente: Propia

Anexo 4: Producción mina por día - Histórico



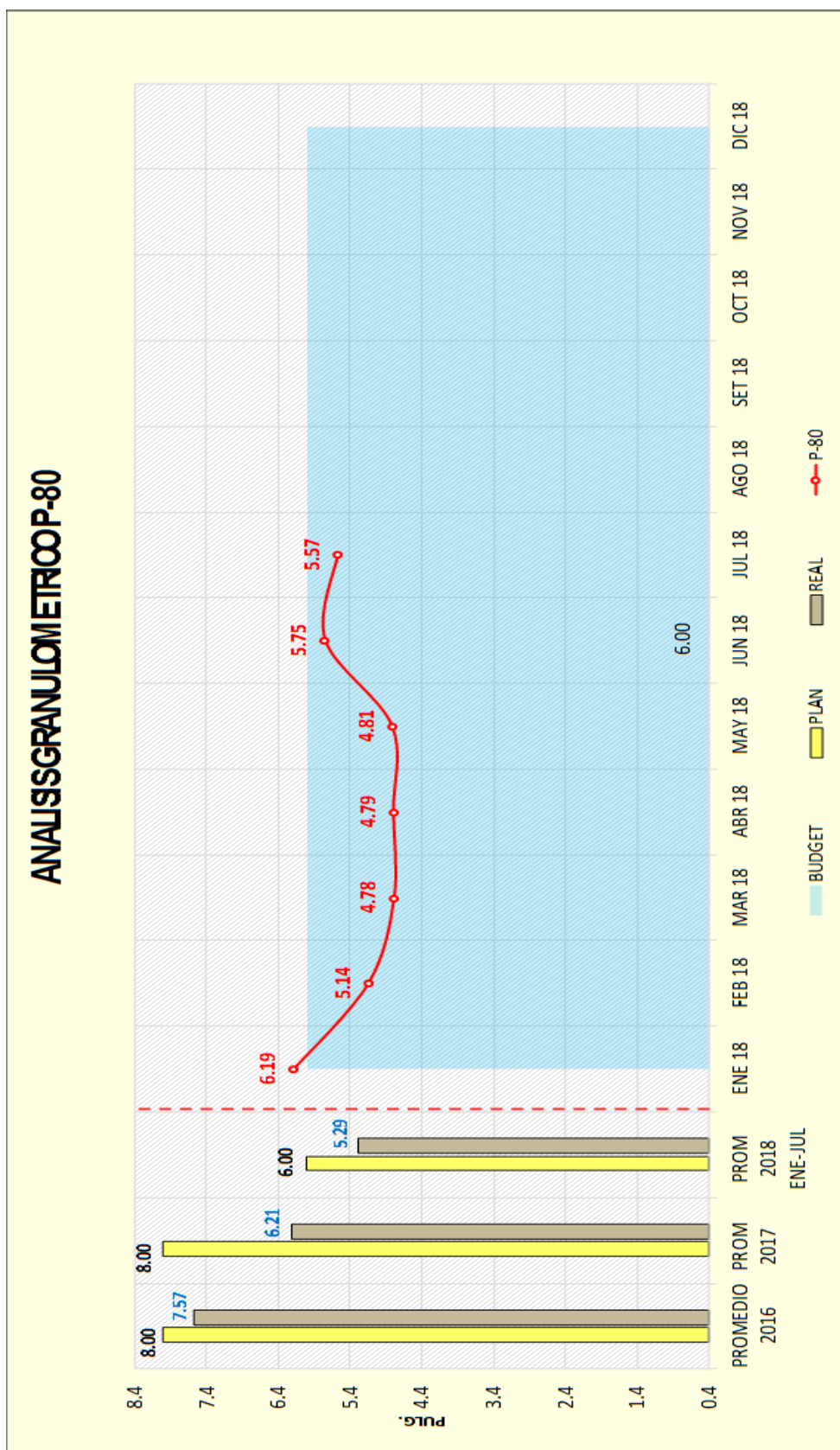
Fuente: Propia

Anexo 5: Dilución- Histórico



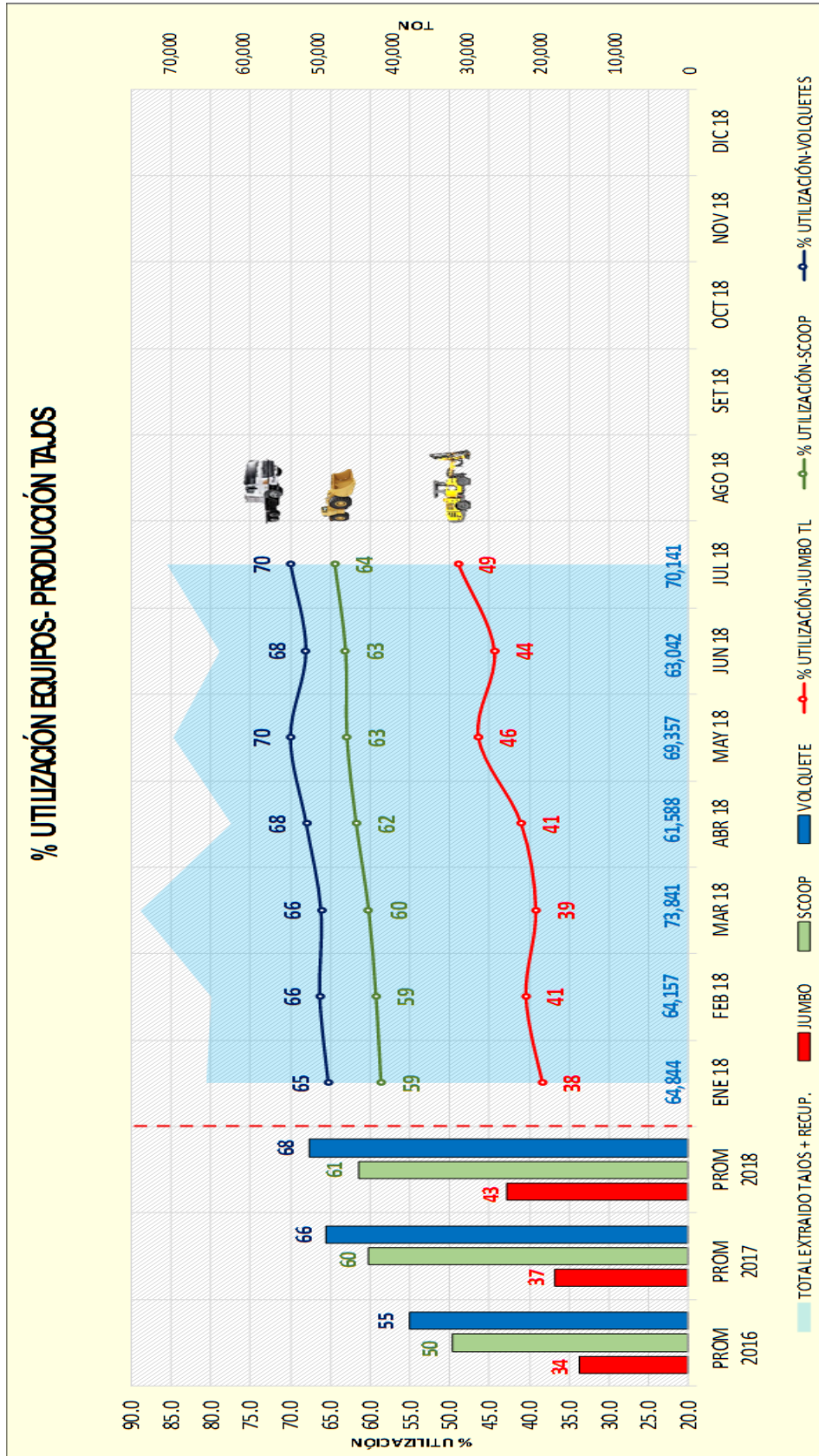
Fuente: Propia

Anexo 6: Análisis granulométrico - Histórico



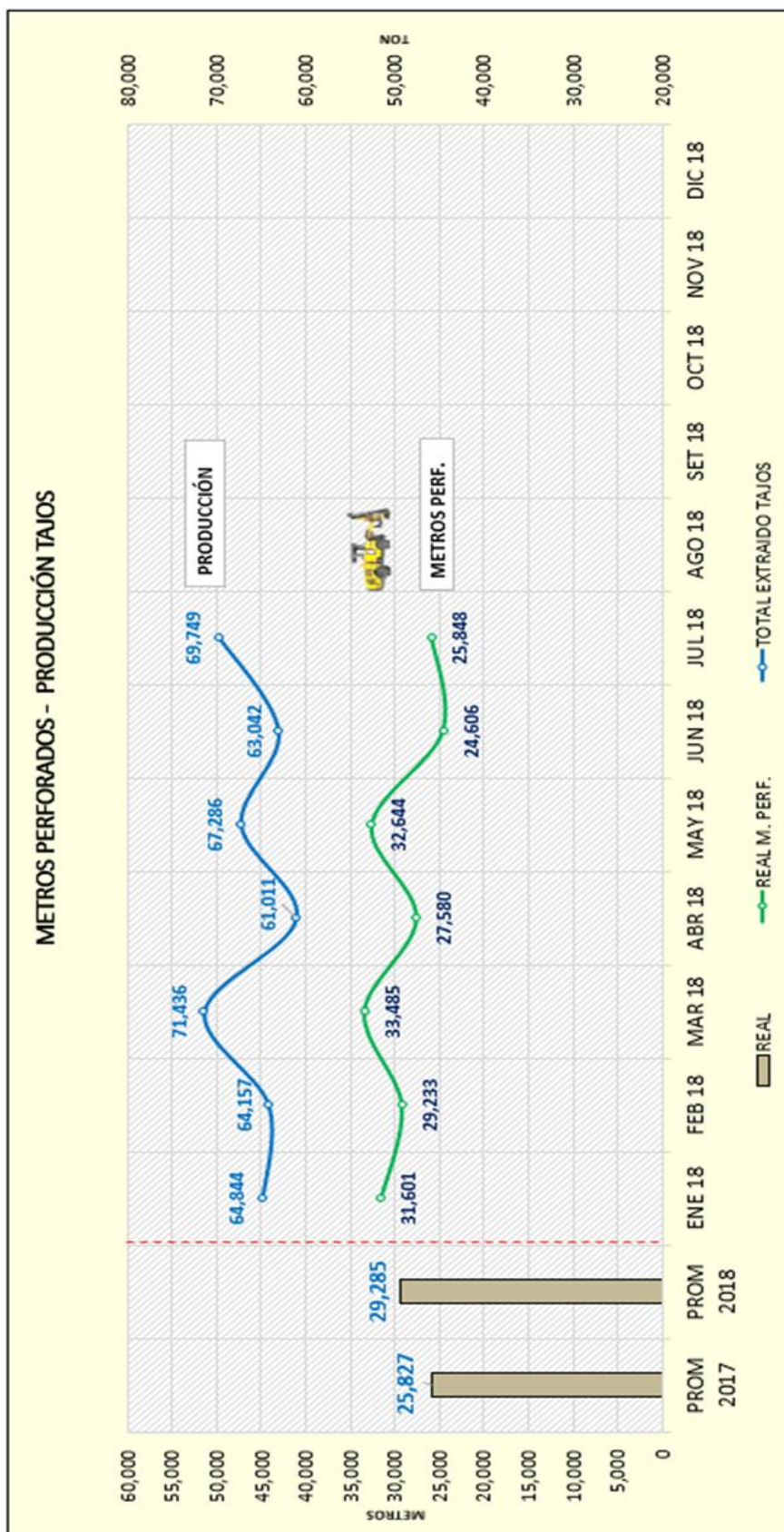
Fuente: Propia

Anexo 7: Utilización de equipos



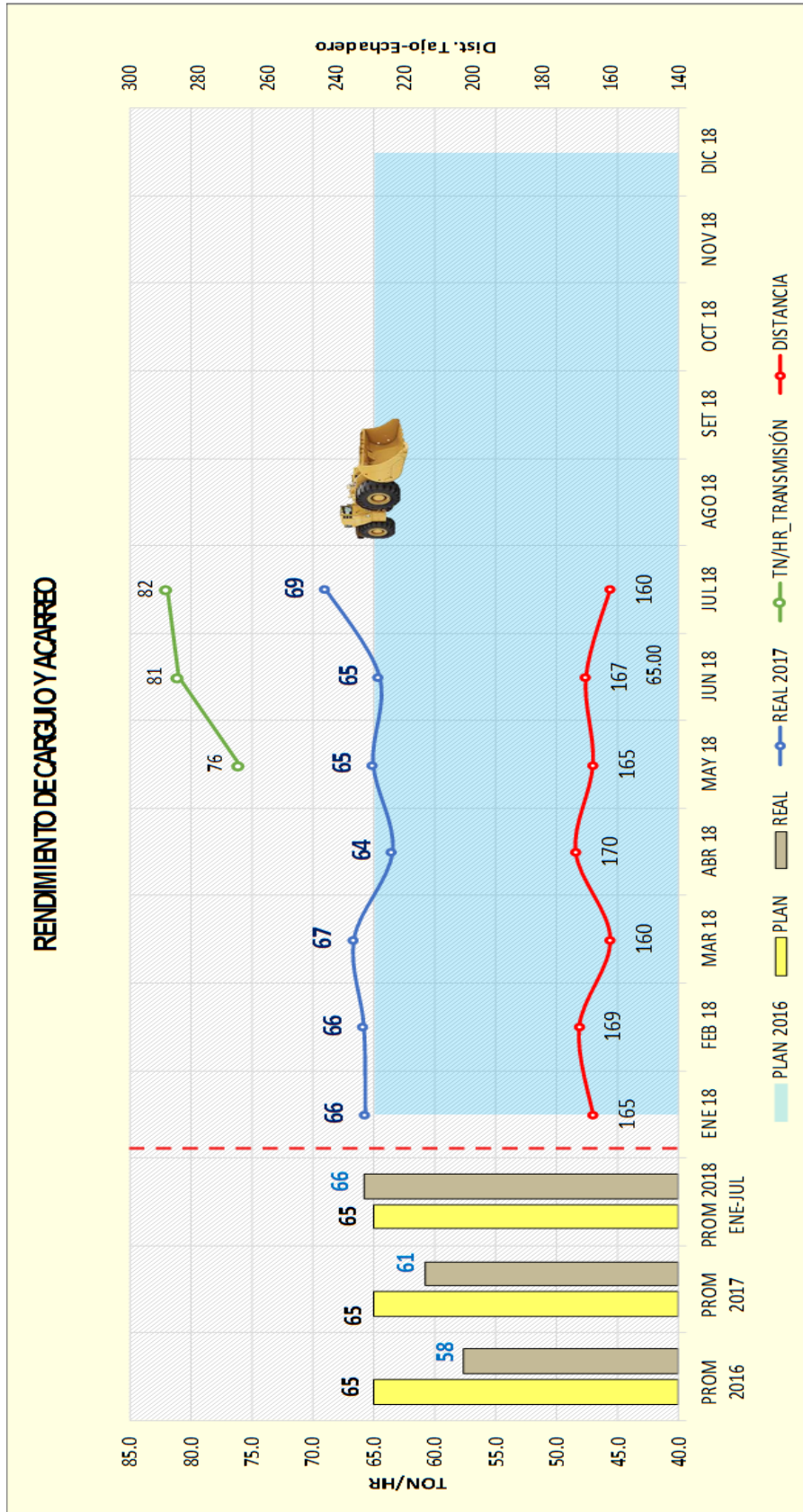
Fuente: Propia

Anexo 8: Metros Perforados - Histórico



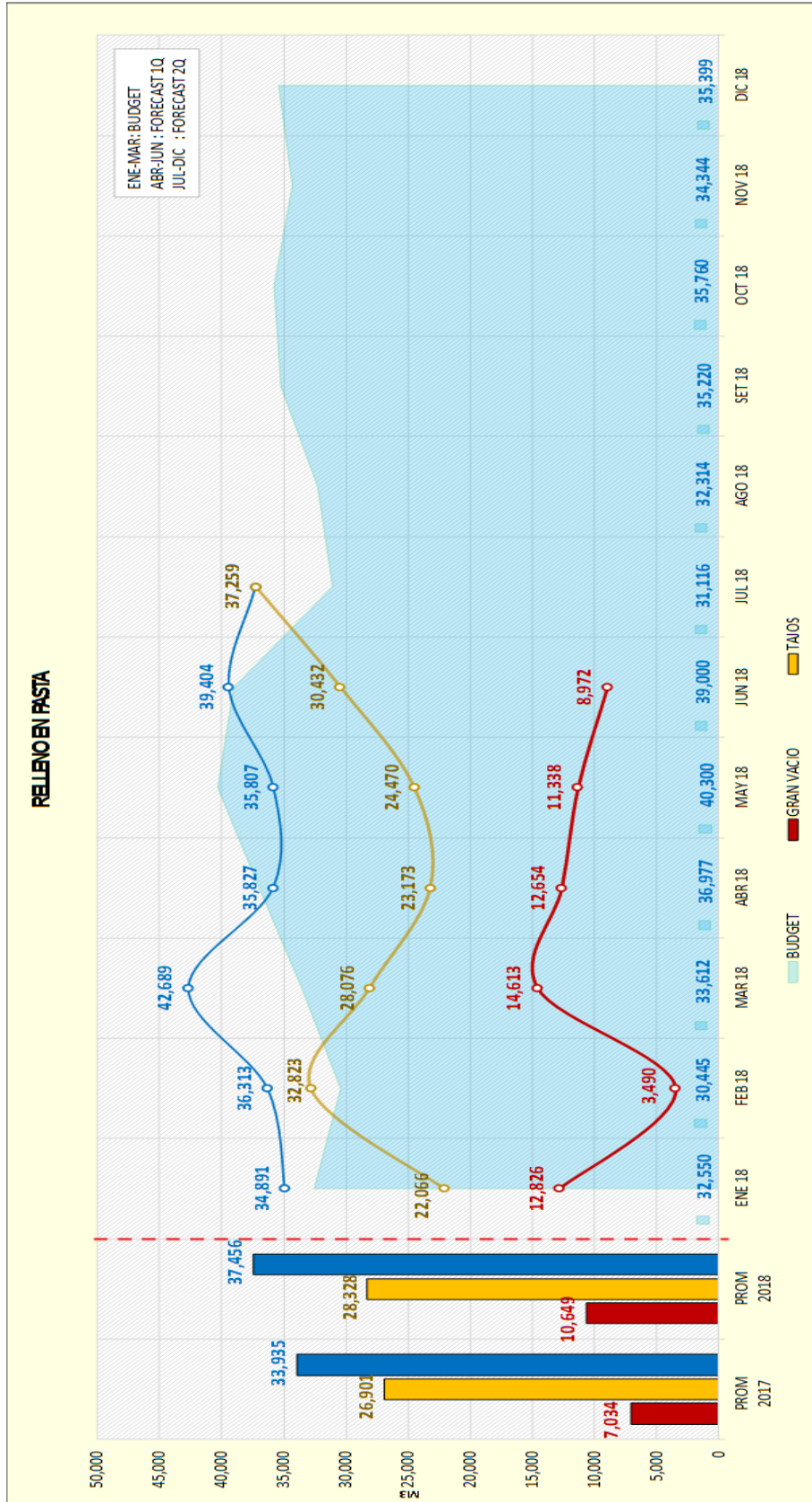
Fuente: Propia

Anexo 9: Rendimiento de acarreo - Histórico



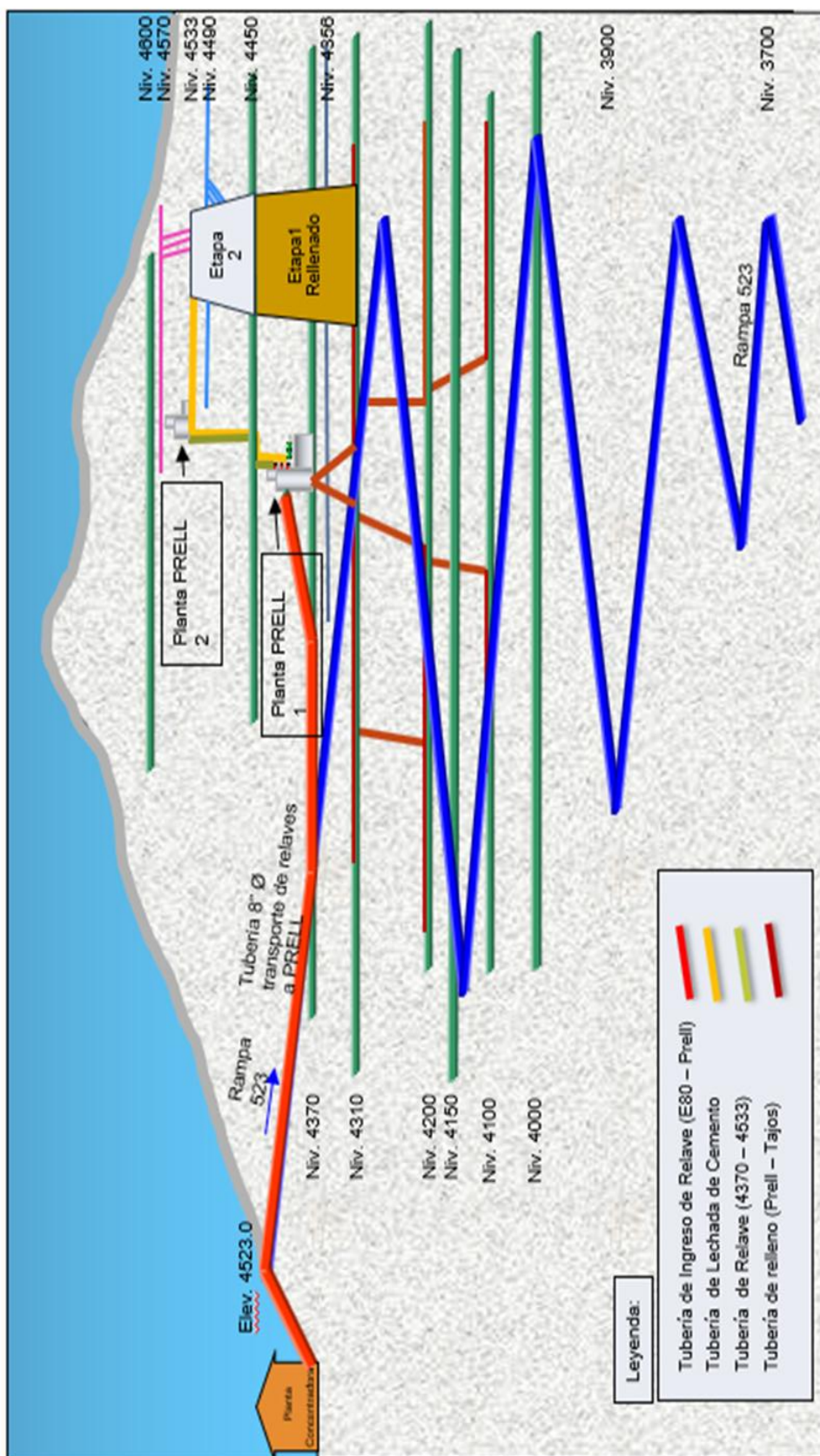
Fuente: Propia

Anexo 10: Relleno en pasta



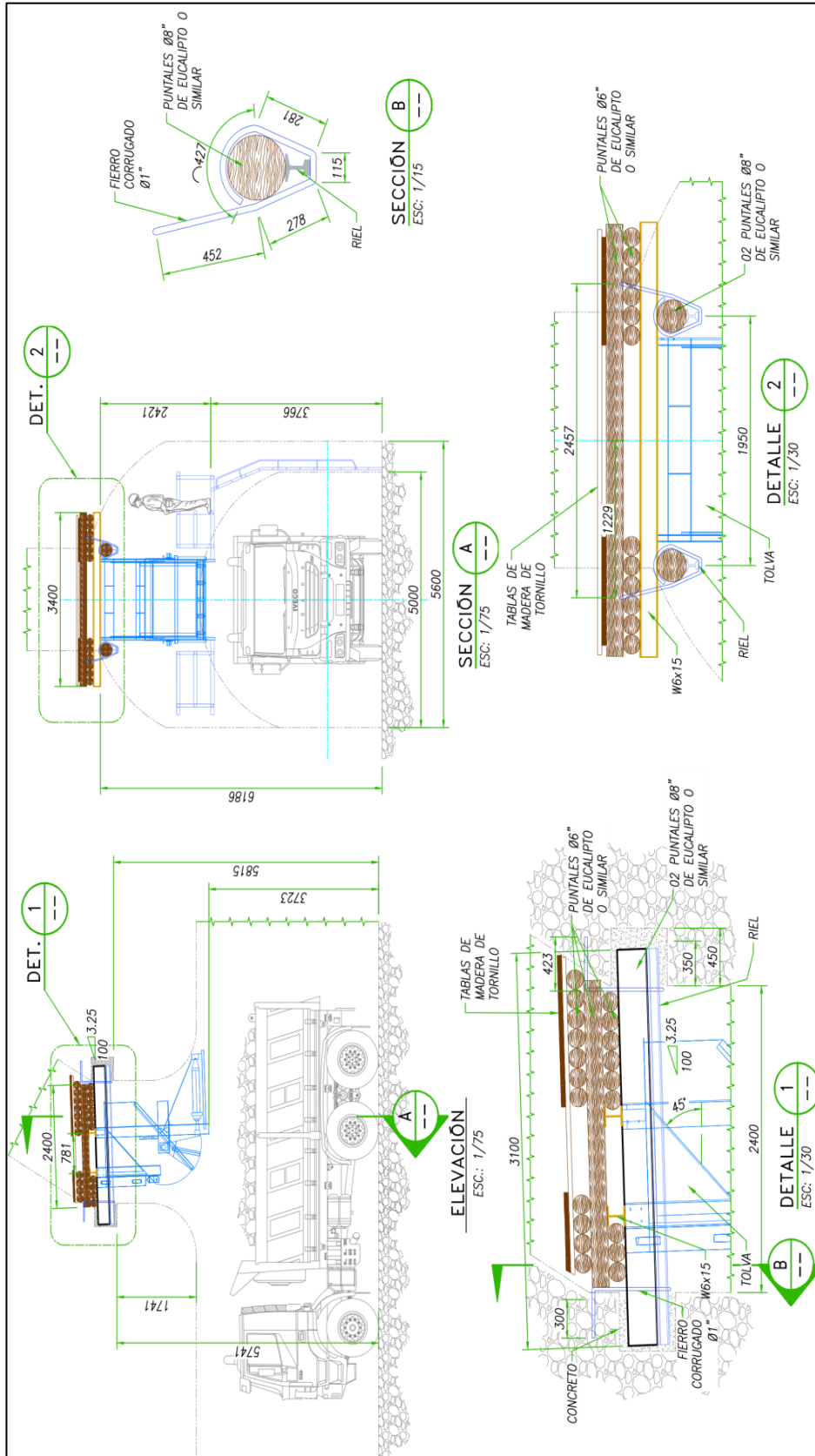
Fuente: Propia

Anexo 11: Sistema de relleno unifilar



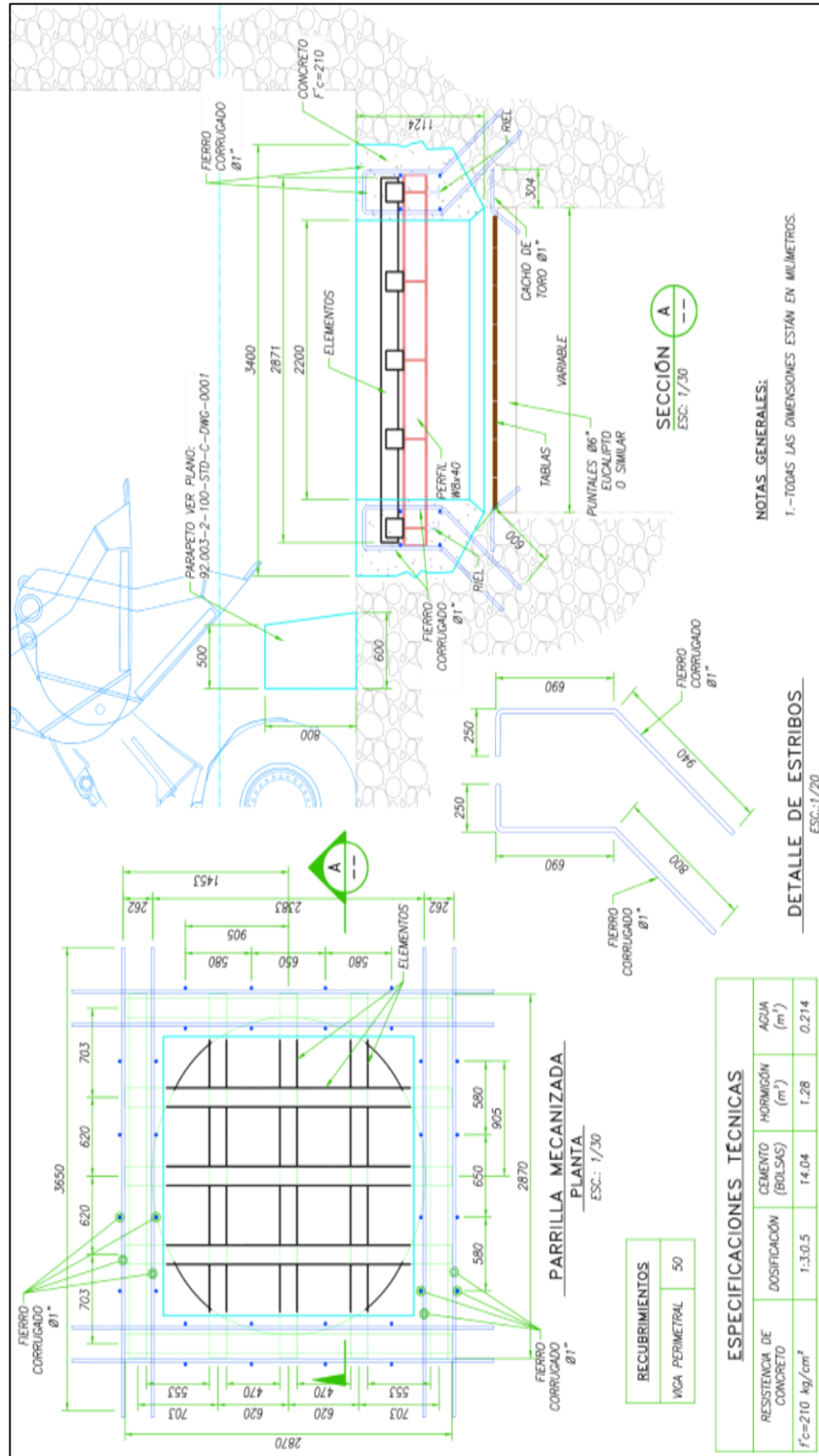
Fuente: Propia

Anexo 12: Diseño de instalación de tolva metálica



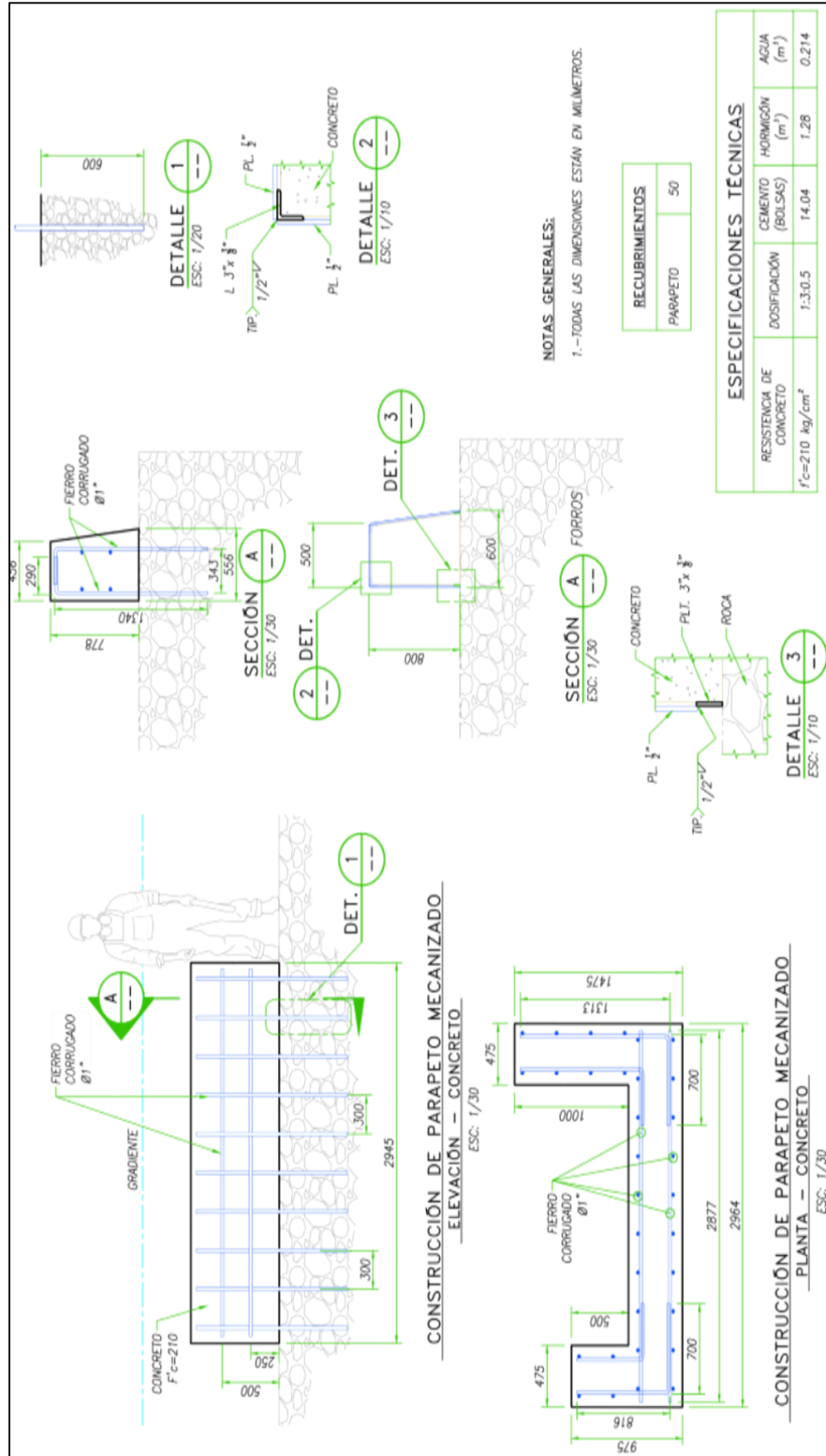
Fuente: Of. Planeamiento - EPCM Experts

Anexo 13: Instalación de parrillas mecanizadas



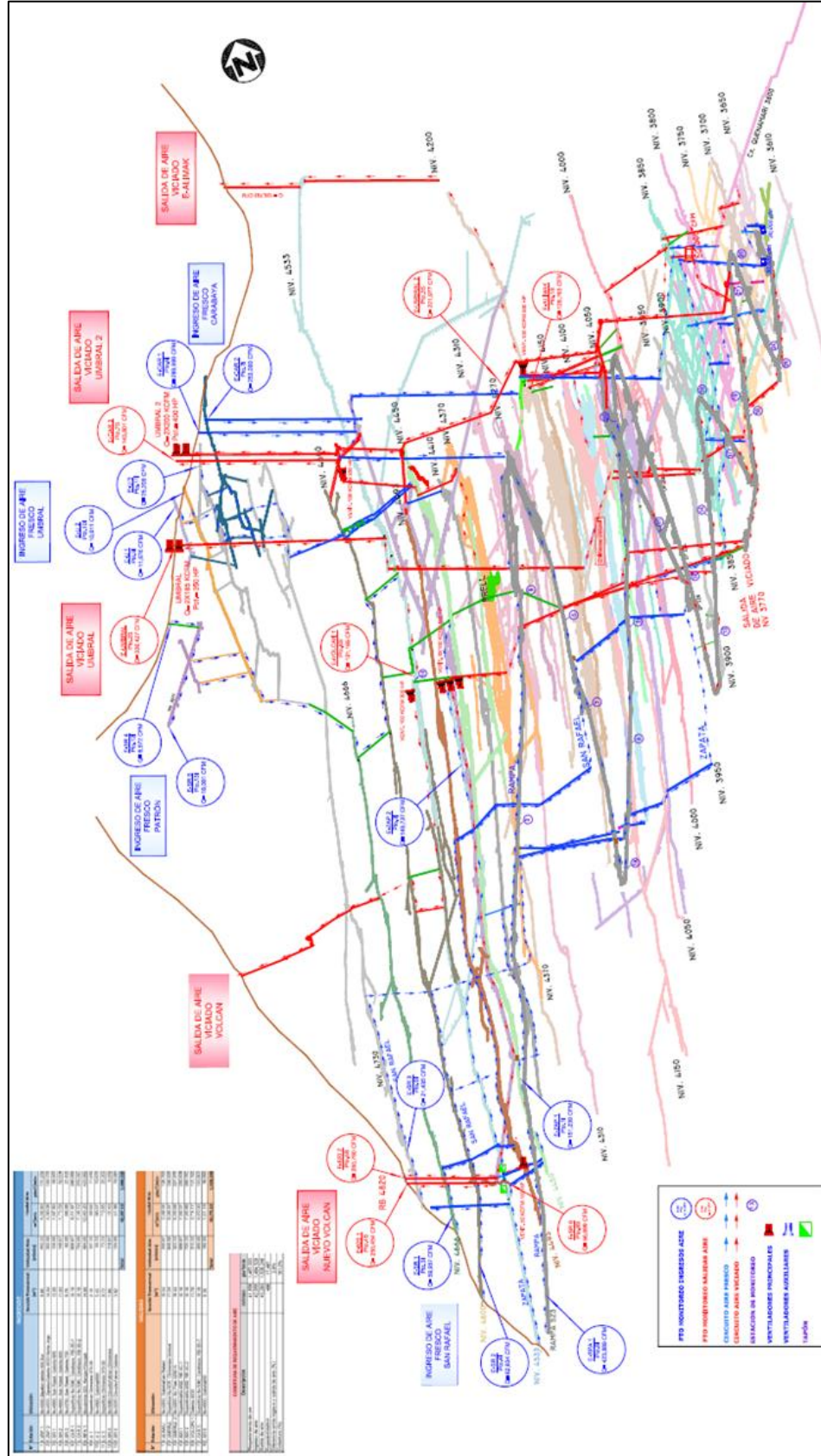
Fuente: Of. Planeamiento - EPCM Experts

Anexo 14: Instalación de parapetos mecanizados



Fuente: Of. Planeamiento - EPCM Experts

Anexo 15: Plano isométrico del sistema de ventilación



Fuente: Of. Ventilación - Minsur