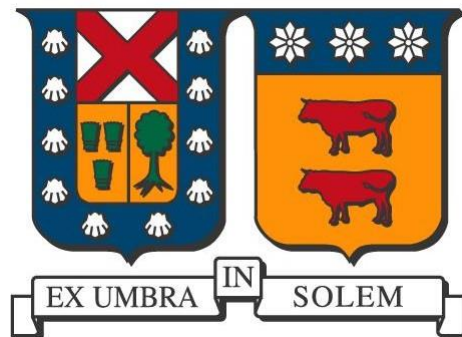


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y
DE MATERIALES
SANTIAGO - CHILE



**ESTUDIO COMPARATIVO DE SOFTWARE
MINESIGHT 15.7 Y DESWIK 2021.2 EN
PLANIFICACIÓN MINERA A LARGO PLAZO**

SEBASTIÁN RODRIGO QUEZADA SHIPLEY

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS

PROFESOR GUIA: GONZALO NELIS

SANTIAGO DE CHILE

SEPTIEMBRE, 2023



AGRADECIMIENTOS

Primero que todo, quiero agradecer a mi familia por el apoyo incondicional, por todas las enseñanzas que me han dado, por los valores que me han entregado y por siempre estar presentes en mi vida. Papá, Mamá, Barbara y Rocío muchas gracias por ser parte de mi familia.

Quiero agradecer a la Paula por llegar en el momento correcto a mi vida, ha sido un pilar fundamental, desde que fue mi amiga hasta mi pareja. Los lindos momentos contigo no faltan. Además, agradecerle ya que gracias a ella encontré a la empresa con la que realicé mi memoria.

Le doy las gracias a OreMining por darme la oportunidad de trabajar con ellos, en especial, a Juan Cortes por ser un jefe que me entrega conocimiento constantemente.

No puede faltar el agradecimiento a mi grupo de amigos que siempre estuvieron ahí, en los buenos y en los malos momentos. Gracias por los momentos compartidos, el apoyo mutuo y las risas que han hecho de estos años una experiencia inolvidable.

Finalmente, darle las gracias a mi profesor Gonzalo Nelis. Su apoyo y asesoramiento han sido fundamentales para alcanzar este importante logro académico.



RESUMEN

Actualmente, una empresa minera tiene en funcionamiento una mina de hierro que produce alrededor de 28 millones de toneladas de concentrado de hierro anualmente. La planificación de esta mina se encuentra desarrollada mediante el Software de planificación minera MineSight, el cual entrega el plan de producción de la mina en base a un modelo de bloques y a sólidos correspondientes a las fases de la mina. Si bien esta herramienta ha sido utilizada a lo largo de los últimos años, la empresa tiene la intención de comenzar a utilizar el software Deswik para la planificación.

El presente estudio tendrá el objetivo de realizar una comparación entre ambos softwares mencionados. La comparación se realizará en términos de los planes de extracción y producción, en facilidad de uso, en tiempos de espera y en herramientas a disposición del usuario. La metodología para utilizar será generar un plan de extracción y producción mediante el software Deswik poniendo atención en cada una de las herramientas utilizadas. A continuación de esto, se analizará las herramientas y los planes obtenidos previamente a partir del software MineSight. Luego de esto, se procederán a realizar las comparaciones anteriormente mencionadas para finalmente concluir cual de ambos softwares se destaca frente al otro.

De lo desarrollado en el presente trabajo, Deswik y MineSight cumplen con lo necesario para lograr desarrollar planes mineros. Mediante ambos softwares es posible generar planes que garantizan la producción objetivo de 28 millones de toneladas de concentrado de hierros anuales. En cuanto a los planes de extracción se obtuvo que Deswik tomó la decisión de minar más material durante los periodos 2056-2061 permitiendo reducir la cantidad de material a minar durante los periodos siguientes y de esta manera tener un decaimiento gradual del material a minar, siendo beneficioso para el proceso de adquisición y remplazo de camiones.

Deswik se destacó frente a su competencia MineSight en varios aspectos. Primero que todo, por su fácil entendimiento de las herramientas, las cuales para un nuevo usuario pueden requerir una curva de aprendizaje más pronunciada. Se destacó por la rapidez en sus simulaciones, demorándose prácticamente un 100% menos en el total del tiempo esperado en comparación a su competencia. En cuanto a las herramientas, Deswik posee varias que entregan una mejor experiencia al usuario. Por último, Deswik resulta ser más económicamente rentable, debido a que el software MineSight realiza un cobro anual de mantenimiento equivalente al 18% del costo de la licencia.

Finalmente, en base a lo desarrollado a lo largo de este trabajo, se aconseja a la empresa minera utilizar el software Deswik para el desarrollo de planes mineros. Esto se podría extrapolar para todas las minas pertenecientes a la empresa ya que Deswik se puede personalizar de acorde a los requerimientos de cada caso.



ABSTRACT

This study compares two mine planning software, MineSight and Deswik, to determine which one offers better performance and efficiency for a mining company operating an iron mine that produces approximately 28 million tons of iron concentrate annually. While MineSight has been utilized for mine planning in recent years, the company is evaluating the adoption of Deswik for planning purposes.

The comparison is carried out based on extraction and production plans, ease of use, processing times, and available tools for users. The methodology involves generating an extraction and production plan using Deswik, carefully examining each tool employed. Then, the same plan is analysed using MineSight. Finally, a comparison is conducted, evaluating the software's performance in the aforementioned aspects, leading to the identification of the best alternative for the company.

The findings reveal that both Deswik and MineSight meet the requirements for developing mining plans that fulfill the target production of 28 million tons of iron concentrate annually. The primary difference lies in the extraction plan, as Deswik's approach involves mining more material during the periods 2056-2061, leading to a gradual decrease in the amount of material to be mined in the following periods, which benefits the process of acquiring and replacing trucks.

Deswik outperformed its competitor, MineSight, in various aspects. Deswik was praised for its user-friendly tools, although new users may require a steeper learning curve. It also exhibited faster simulation times, approximately 100% less time compared to MineSight. Deswik's diverse array of tools delivered a superior user experience. Moreover, Deswik proved to be more economical as MineSight imposes an annual maintenance fee equivalent to 18% of the license cost.

Based on the comprehensive analysis conducted in this study, it is highly recommended that the mining company employ Deswik for their mine planning needs. This recommendation can be extended to other mines within the company, as Deswik's customizable features align with specific project requirements.



ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. OBJETIVOS	9
1.1.1. OBJETIVO GENERAL	9
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
1.2. ENTORNO Y ALCANCES	10
2. ANTECEDENTES	11
2.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA	11
2.2. ANTECEDENTES DE LA MINA	11
2.3. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	11
3. MARCO TEÓRICO	12
3.1. MINERÍA DEL HIERRO	12
3.2. PLANIFICACIÓN MINERA	12
3.1.2. NIVELES DE PLANIFICACIÓN	13
3.1.3. HORIZONTES DE PLANIFICACIÓN.....	13
3.1.4. METODOLOGIA TRADICIONAL	14
3.3. SOFTWARES DE PLANIFICACION MINERA	14
3.3.1. DESWIK.....	15
3.3.2. MINESIGHT.....	18
4. METODOLOGÍA	20
4.1. PLAN DE EXTRACCION CON DESWIK	20
4.1.1. DESWIK.CAD.....	20
4.1.2. DESWIK.SCHED	22
4.2. PLAN DE PRODUCCIÓN CON DESWIK	24
4.2.1. MATERIALES	24
4.2.2. DESWIK.BLEND.....	25
4.3. ANÁLISIS HERRAMIENTAS MINESIGHT Y SUS RESULTADOS	26
4.4. COMPARACIÓN DE SOFTWARES	26
5. RESULTADOS	27
5.1. CASO DE ESTUDIO	27
5.1.1. MODELO DE BLOQUES	27
5.1.2. SÓLIDOS.....	27
5.2. PLAN DE EXTRACCIÓN CON DESWIK	29
5.2.1. IMPORTAR DATA INICIAL	29
5.2.2. CUBICACIÓN Y VISUALIZACIÓN	29
5.2.3. SEGMENTAR LOS SÓLIDOS.....	32
5.2.4. GENERAR ID ÚNICO	34
5.2.5. AGREGAR VARIABLES AL MODELO DE BLOQUES	34
5.2.6. DESWIK.IS	35
5.2.7. DESWIK.SCHED	36
5.2.8. RECURSOS	37
5.2.9. RESTRICCIONES.....	38
5.2.10. SIMULACIÓN.....	39



5.3.	PLAN DE PRODUCCIÓN CON DESWIK	40
5.3.1.	MATERIALES	40
5.3.2.	DESWIK.BLEND.....	41
5.4.	ANÁLISIS DE LAS HERRAMIENTAS DE MINESIGHT	48
5.5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MINESIGHT	49
5.6.	COMPARACIÓN DE PLANES.....	52
5.7.	FACILIDAD DE USO.....	54
5.8.	TIEMPOS DE ESPERA.....	58
5.9.	VENTAJAS DE CADA SOFTWARE	59
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
7.	REFERENCIAS.....	65
8.	ANEXOS.....	67
8.1.	LITOLOGIAS.....	67
8.4.	CARTA GANTT MEDIANTE DESWIK.....	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1:	Metodología tradicional de planificación minera.	14
Ilustración 2:	Metodología seleccionada.....	20
Ilustración 3:	Representación del ángulo de frente. En el caso de la izquierda se tiene un ángulo de 90° y en el caso de la derecha se tiene un ángulo de 37°. (DESWIK).	23
Ilustración 4:	Representación de la altura máxima del enlace vertical. En el ejemplo muestra una altura máxima de 10 metros (DESWIK).	23
Ilustración 5:	Representación de los sólidos correspondiente a cada una de las fases de la mina de estudio.	28
Ilustración 6:	Sólidos de la mina de hierro.....	29
Ilustración 7:	Visualización del modelo de bloques según la ley de hierro en la cota 845.....	30
Ilustración 8:	Histograma de leyes de hierro.....	30
Ilustración 9:	Ejemplo de los cortes generados a partir de la herramienta Deswik.OPSTS al banco 775 de la fase 6.....	33
Ilustración 10:	Representación de la grilla utilizada para los cortes de las fases 14 a la 25.	34
Ilustración 11:	Carta Gantt inicial.	35
Ilustración 12:	Secuencia de las fases.	36
Ilustración 13:	Carta Gantt con dependencias.....	37
Ilustración 14:	Utilización de equipos de extracción.	38
Ilustración 15:	Material extraído por tipo de material mediante Deswik.....	39
Ilustración 16:	Modelo de flujo de Deswik.....	42
Ilustración 17:	Movimiento mina por destinos mediante Deswik.....	46
Ilustración 18:	Alimentación de la planta mediante Deswik.....	46
Ilustración 19:	Leyes de aluminio enviadas a planta mediante Deswik.....	47
Ilustración 20:	Leyes de fosforo enviadas a planta mediante Deswik	47



Ilustración 21: Producción de concentrado mediante Deswik.	48
Ilustración 22: Material extraído mediante MineSight.	50
Ilustración 23: Movimiento mina mediante MineSight.	50
Ilustración 24: Material enviado a planta mediante MineSight.	51
Ilustración 25: Ley de aluminio en planta mediante MineSight.	51
Ilustración 26: Ley de fosforo en planta mediante MineSight.	52
Ilustración 27: Producción de concentrado de hierro mediante MineSight.	52
Ilustración 28: Plan de extracción con movimientos uniformes en periodos de cinco años mediante Deswik.	53
Ilustración 29: Plan de extracción mediante MineSight.....	53
Ilustración 30: Interfaz 3D de Deswik.	55
Ilustración 31: Interfaz 3D de MineSight.....	55
Ilustración 32: Interfaz Deswik.SCHED.....	56
Ilustración 33: Interfaz Deswik.BLEND.....	57
Ilustración 34: Interfaz MinePlan.....	57
Ilustración 35: Carta Gantt de Deswik parte 1	69
Ilustración 36: Carta Gantt de Deswik parte 2	70
Ilustración 37: Carta Gantt de Deswik parte 3	71
Ilustración 38: Carta Gantt de Deswik parte 4	72
Ilustración 39: Carta Gantt de Deswik parte 5	73
Ilustración 40: Carta Gantt de Deswik parte 6	74
Ilustración 41: Carta Gantt de Deswik parte 7	75
Ilustración 42: Carta Gantt de Deswik parte 8	76
Ilustración 43: Carta Gantt de Deswik parte 9	77
Ilustración 44: Carta Gantt de Deswik parte 10	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Categorías presentes en el modelo de bloques.....	27
Tabla 2: Características metalúrgicas del proceso de Reducción Directa.....	29
Tabla 3: Cubicación por fases.	31
Tabla 4: Cubicación por categoría de mineral.	31
Tabla 5: Cubicación por litología del mineral.....	32
Tabla 6: Tasa de producción por equipo de extracción.....	37
Tabla 7: Restricciones por fecha.	38
Tabla 8: Tipos de materiales creados.	40
Tabla 9: Descripción de los orígenes/destinos presentes en el proyecto.....	42
Tabla 10: Periodos de mezcla.....	43
Tabla 11: Aceptación de materiales de cada destino.....	44
Tabla 12: Almacenamiento inicial de material de alta ley.	44
Tabla 13: Almacenamiento inicial de material de litología 5.	44
Tabla 14: Restricciones de leyes de aluminio a planta.....	45
Tabla 15: Restricción de leyes de fosforo a planta.....	45
Tabla 16: Periodos de mezcla mediante MineSight.....	49



Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil de Minas
*“Estudio comparativo de software MineSight 15.7 y Deswik 2021.2 en
planificación minera a largo plazo”*

Tabla 17: Tiempos de espera de las diferentes herramientas con Deswik.	58
Tabla 18: Tiempos de espera con MineSight.	59
Tabla 19: Comparación de herramientas de Deswik y MineSight.	60
Tabla 20: Litologías presentes en el modelo de bloques.	67
Tabla 21: Utilización efectiva de palas PC5500.	67
Tabla 22: Utilización efectiva de palas PC5500 P101	68
Tabla 23: Utilización efectiva de palas PC4000.	68
Tabla 24: Utilización efectiva de cargadores frontales WC1200.	68



1. INTRODUCCIÓN

La minería es una industria clave en muchos países del mundo. En Chile, según el Consejo Minero, en el año 2021 la minería generó un aporte de 14.6% en el producto interno bruto y un 12% en los ingresos fiscales (Consejo Minero, 2023) convirtiéndose una industria fundamental para el país. La minería se encarga de extraer y procesar recursos minerales como el hierro, cobre, oro y muchos más metales y minerales que son utilizados con diferentes objetivos de acuerdo con sus propiedades.

En el ámbito de los proyectos mineros, es crucial buscar la obtención de ganancias económicas óptimas en el menor tiempo posible. Es por esto por lo que la industria minera se enfoca en extraer los minerales con las concentraciones más altas (leyes) en las primeras etapas del proyecto, mientras que las áreas con concentraciones más bajas se dejan para ser explotadas al final. Y ¿Cómo generar que las baja leyes sean más rentables económicamente? Aplicando nuevas tecnologías a cada una de las diferentes áreas del ámbito minero para la optimización los procesos y así lograr un aumento en el beneficio económico de la empresa minera.

Dentro de la minería, la planificación minera implica la creación de planes detallados que definen la forma en que se extraen los recursos minerales. Es una tarea compleja que involucra identificación de recursos minerales disponibles en una zona determinada, y la creación de un plan detallado para la extracción y procesamientos de dichos recursos. Los avances tecnológicos, especialmente la creación de software de planificación minera, han tenido un impacto significativo en esta área. Estos softwares permiten a los ingenieros y operadores de la mina crear modelos digitales de la mina y simular diferentes escenarios, lo que disminuye la incertidumbre en los procesos y contribuye a la optimización de la producción y la rentabilidad de las empresas mineras.

En la última década, el mercado de softwares de planificación minera ha experimentado un amplio crecimiento. Entre los softwares más utilizados se encuentran DATAMINE (Datamine, 2023), DESWIK (Deswik, 2023), MINESIGHT (Hexagon Mining, 2023), SURPAC (Dassault Systèmes GEOVIA, 2023), VULCAN (Maptek, 2023), entre otros. Estas opciones, en general, son competencias entre sí, cumpliendo funciones similares, pero con diferentes algoritmos matemáticos. Es fundamental seleccionar el software adecuado de acuerdo con los requerimientos específicos de cada empresa, considerando aspectos como el nivel de detalle de los resultados obtenidos, la operatividad de los diseños generados, la búsqueda de objetivos financieros, el menor costo de mantenimiento y la comodidad con la interfaz del software.

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo comparar dos softwares de planificación minera, Deswik y MineSight, con el propósito de determinar cuál de ellos ofrece un mejor resultado según los requerimientos específicos de una empresa minera. Se realizarán comparaciones en términos del plan de producción, facilidad de uso, tiempos de espera, y herramientas, señalando las ventajas y desventajas de cada uno de los softwares. En última instancia, se espera que los resultados de este trabajo proporcionen una guía útil para que las empresas mineras puedan tomar decisiones informadas y aprovechar al máximo la tecnología disponible para asegurar un crecimiento y rentabilidad de sus proyectos.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio comparativo para la planificación minera a largo plazo entre los softwares Deswik y MineSight en términos operacionales y técnicos.



1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar y comparar la factibilidad operacional de los planes de producción entregados por cada software
- Comparar los flujos de trabajo de ambos softwares, su facilidad de uso y sus tiempos de espera en las herramientas de simulación.
- Identificar ventajas y desventajas de cada uno de los softwares mencionados.

1.2. ENTORNO Y ALCANCES

Las variables de entorno del presente estudio comparativo se enmarcan en los siguientes aspectos:

- Los datos a utilizar son reales de una mina ubicada en Brasil.
- Esta mina posee un método de extracción a cielo abierto.
- El mineral de interés de esta mina es el Hierro.
- La planificación estratégica ya se realizó, por lo que ya se tienen los sólidos correspondientes a las fases de la mina.
- La planificación a realizar para la mina es de largo plazo.
- El análisis comparativo de ambos softwares de diseño y planificación será cuantitativo y cualitativo.

Dentro de este entorno, el estudio tendrá los siguientes alcances:

- El plan minero obtenido a partir del software MineSight fue realizado previamente por la empresa OreMining. Para realizar el correcto estudio comparativo se estará en constantes reuniones con el autor de ese plan.



2. ANTECEDENTES

2.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

OreMining es una empresa consultora de Planificación Minera fundada en el año 2016. Es una empresa chilena, enfocada a la minería a cielo abierto. OreMining ofrece servicios relacionados con: Planificación Minera, Gestión Operacional, Derecho Territorial, Modelamiento Geológico, Estimación de recursos, estudios para proyectos mineros en distintas etapas y estudios de minas en operación. Sus principales clientes son Anglo American, Antofagasta Minerals, BHP, Cerrejón, Sierra Gorda SCM, entre otras.

Actualmente, OreMining se encuentra con una serie de proyectos. Uno de ellos, y sobre el cual se trabajará en esta memoria de título, es una mina de hierro ubicada en Brasil, de la cual no se entregará nombre ni más información de la ubicación de esta mina por razones de confidencialidad. La empresa entrega diferentes servicios para esta minera, como lo son la planificación minera a mediano y largo plazo del yacimiento férreo.

2.2. ANTECEDENTES DE LA MINA

La operación minera es masiva y de método minero cielo abierto a partir de 25 fases de extracción. Los análisis económicos de la mina indican que la concentración mínima que debe tener un bloque es de 25% de hierro. La mina posee una capacidad de procesamiento del orden de 170 millones de toneladas por año y capacidad de procesamiento que supera los 70 millones de toneladas de mineral de fierro al año. Este flujo de material permite producir del orden de 28 millones de toneladas por año de concentrado de hierro.

2.3. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

A continuación, se presentará un trabajo relacionado con el tema de la presente memoria. De estos se destacarán sus objetivos, metodologías, resultados y conclusiones.

El trabajo a revisar tiene como título “Estudio comparativo de software minesight 11.50 y deswik 2017.1 planificación corto plazo en proyecto minera Sierra Gorda SCM” escrita por José Luis Vega Campos en el año 2018. Esta tesis tiene como objetivo realizar una comparación técnica económica entre los softwares de planificación minera MineSight y Deswik. Los principales puntos a comparar serán: costos de mantenimiento, facilidad de uso, velocidad de ejecución y adaptación al personal capacitado. Para este trabajo, la metodología utilizada fue de un estudio inicial de información desde dos aristas. “La primera busca identificar de manera fehaciente las zonas de dureza para la optimización del plan semanal de perforación y tronadura; mientras que la segunda consiste en un back análisis (análisis de datos históricos) de los rendimientos efectivos de equipos de carguío diferenciados por banco y flota, para el establecimiento de gráficas predictivas sobre esta variable y asignación de valores a modelo de bloques Rajo Catabela.” (J.Vega, 2018). El resultado obtenido fue que al reemplazar las herramientas de MineSight por las de Deswik, en cada una de las áreas trabajadas en esta tesis, los índices de rentabilidad aumentaron un 33.7 por ciento en dinero sometido a descuentos, y un 37.6 en ingreso bruto. Por lo tanto, de este trabajo se obtuvo que el software Deswik, para su uso de planificación minera para mediano y corto plazo, fragmentación y geomensura, posee una ventaja comparativa sobre MineSight.



3. MARCO TEÓRICO

3.1. MINERÍA DEL HIERRO

El hierro es uno de los metales más abundantes dentro de la corteza terrestre y es ampliamente utilizado en la producción de acero y otros productos metálicos. Los principales productores de hierro en el mundo son China, Australia, Brasil, India y Rusia (United States Geological Survey, 2023). El proceso de extracción de hierro comienza con la extracción a través de una minería superficie o subterránea. Luego, se lleva a cabo un proceso de procesamiento para separar el mineral de la roca y otros elementos no deseados.

La flotación de hierro es un proceso utilizado para separar los minerales de hierro de las impurezas. Las impurezas que más se desea eliminar son (Camp, 1920):

- Aluminio: El aluminio es un contaminante común en el mineral de hierro y puede afectar negativamente la calidad del concentrado de hierro. El exceso de aluminio en el concentrado de hierro puede hacer que el acero producido a partir de este concentrado sea menos resistente a la corrosión y más propenso a la oxidación.
- Potasio: El exceso de potasio en el concentrado de hierro puede afectar la calidad del acero producido a partir de ese concentrado, ya que puede causar problemas en el proceso de fundición. El potasio puede reaccionar con el oxígeno durante la fundición y formar escoria, que puede contaminar el metal y reducir su calidad.
- Sílice: La sílice es un contaminante común en el mineral de hierro y puede afectar negativamente la calidad del concentrado de hierro. El exceso de sílice en el concentrado de hierro puede hacer que el acero producido a partir de este concentrado sea frágil y quebradizo.

Estos son los principales elementos que generan una disminución en la calidad del concentrado de hierro. Por lo tanto, es importante que las empresas mineras tomen medidas para minimizar la presencia de estos elementos contaminantes durante el proceso de extracción y procesamiento del mineral de hierro.

Existen varios procesos metalúrgicos para la recuperación de hierro. El método del que se hablará en la presente memoria de título se denomina Reducción Directa. El proceso de reducción directa del hierro se basa en la reducción del mineral de hierro en estado sólido a través de una reacción química utilizando gas reductor como gas natural o gas de síntesis. En este proceso, el mineral de hierro se convierte en hierro esponjoso, que se utiliza como materia prima para la producción de acero.

3.2. PLANIFICACIÓN MINERA

La planificación minera es el proceso de diseñar un plan de explotación de una mina que permita la extracción óptima de los recursos minerales del yacimiento. Este plan debe ser económicamente viable, teniendo en cuenta factores como los costos de extracción, los precios de los metales, los costos de procesamiento, la infraestructura requerida y los permisos y regulaciones gubernamentales (Lerchs y Grossman, 1965). Esto se realiza con el objetivo de alcanzar las metas que se establezcan por la empresa minera.

La planificación minera debe cumplir con una serie de objetivos básicos (Hustraid y Kutcha, 2006):

- Explorar un yacimiento de manera eficiente, garantizando la producción del metal a un costo mínimo cada año. Para asegurar la viabilidad operativa, se requerirá una flota de equipos y un acceso de transporte a cada banco activo. Además, es esencial incorporar suficiente material 'Asegurado' para compensar posibles errores en las estimaciones de tonelaje y leyes de mineral, especialmente durante los primeros años críticos para el éxito económico.



- Se buscará posponer la eliminación de estéril tanto como sea posible, al mismo tiempo que se garantice un flujo de equipos y mano de obra de manera gradual. Se diseñará un programa de inicio lógico y fácilmente implementable, teniendo en cuenta la capacitación de la mano de obra, las etapas iniciales del proyecto, el desarrollo de equipos, la infraestructura y el soporte necesario, para minimizar el riesgo de retrasar el flujo de ingresos futuros de la empresa.
- La planificación de los ángulos de talud se basará en investigaciones geotécnicas para maximizar su eficiencia y se abordarán cuidadosamente las posibles inestabilidades del talud para mitigar impactos adversos.
- Se evaluarán de manera adecuada las alternativas de la tasa de producción mineral y diferentes escenarios de leyes de corte desde una perspectiva económica.
- Todas las propuestas de minado, selección de equipos y desarrollo de la mina se someterán a pruebas estratégicas y planificaciones de contingencia 'qué pasa si' antes de tomar decisiones definitivas.

De lo leído se destaca que debe existir un grado de flexibilidad en el proceso de planificación. Esto debido a que se necesita estar preparado para posibles cambios operacionales o económicos. Esto se complementa con el uso de planes de contingencia, los cuales son planes alternativos que permiten responder de manera efectiva en caso de un cambio que impida seguir con el plan de producción original.

3.1.2. NIVELES DE PLANIFICACIÓN

El proceso de planificación intenta realizar una predicción del futuro y debe estar preparado para adaptarse a los inevitables cambios o ciclos del proyecto. Teniendo en cuenta esto, la planificación puede tener diferentes niveles (Lira, 2022):

- **Planificación estratégica:** Elección de métodos de explotación, definir la capacidad mina y de procesamiento y estimación de reservas minerales. Su objetivo principal es sincronizar el mercado mundial del cobre con los recursos disponibles, y la misión de la compañía.
- **Planificaciones tácticas:** Especificación de los procesos a realizar a lo largo de la vida útil de la mina, como los programas de Producción de Largo Plazo y modelos de programación para la utilización de equipos. El resultado de la planificación táctica es el Plan Minero, el cual define el “Como” y “Cuando” se extraerán los recursos, estableciendo los recursos humanos y materiales a utilizar.
- **Planificación operativa:** En esta se incluyen los procesos e índices operativos resultantes del plan minero. Mediante estos índices se realizan la retroalimentación con la planificación conceptual. Se realizan de manera diaria o semanal.

3.1.3. HORIZONTES DE PLANIFICACIÓN

Por otra parte, según el nivel de detalle que se le quiera dar al plan minero, se escoge según el periodo de tiempo a planificar. Estos pueden ser (Vega, 2018):

- **Planificación de Largo Plazo:** En esta se define una envolvente económica de las reservas disponibles sobre el cual se realizará el Plan de Producción el cual definirá el LOM (Life Of Mine) del proyecto. En este proceso, se define también el tamaño de la mina, método de extracción, el diseño de las rampas de acceso, la secuencia de extracción, capacidad de procesamiento, cálculo de leyes óptimas, cálculo de equipos, inversiones y costos del proyecto.



- Planificación de Mediano Plazo: Tiene un horizonte de tiempo bianual, anual, semestral. Se realizan los planes de producción de acuerdo con los objetivos definidos en el largo plazo. Permite asegurar el presupuesto de las operaciones y retroalimentar la planificación del largo plazo.
- Planificación de Corto Plazo: Tiene un horizonte de tiempo mensual, semanal y diario. Se realizan análisis de los recursos utilizados en las operaciones. Además, debe recopilar la información operacional para retroalimentar la planificación del mediano plazo.

Para la creación de los planes mineros, independientemente de cuál sea el horizonte de tiempo, se suele realizar mediante el uso de softwares de planificación minera.

3.1.4. METODOLOGIA TRADICIONAL

La metodología tradicional de planificación minera generalmente sigue los pasos mostrados en la **Ilustración 1** (Quiroz, 2013) (Meneses, 2019):

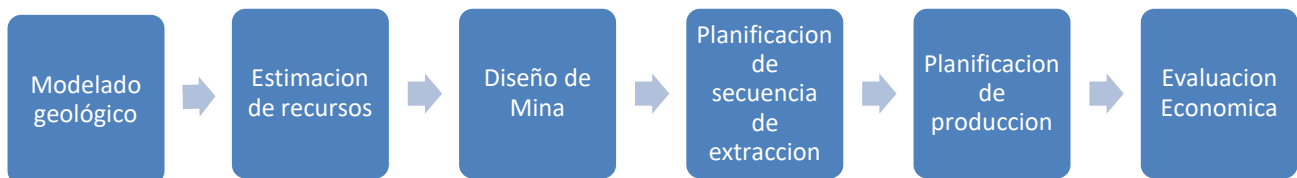


Ilustración 1: Metodología tradicional de planificación minera.

1. **Modelado geológico:** Se construye un modelo 3D del depósito mineral utilizando software especializado de modelado geológico, utilizando información geológica y de muestreo.
2. **Estimación de recursos:** Se utilizan diferentes técnicas estadísticas para estimar la cantidad y calidad de los recursos minerales presentes en el depósito, como la kriging ordinaria o la simulación estocástica.
3. **Diseño de Mina:** se utiliza software especializado de diseño de minas para determinar la ubicación y diseño de la mina, incluyendo la selección de los métodos de extracción y procesamiento.
4. **Planificación de secuencia de extracción:** Se utiliza software especializado de planificación minera para determinar la secuencia en la que se extraerá el mineral y se establecen los planes de minado detallados para cada zona de la mina.
5. **Planificación de producción:** Se establece un plan de producción a largo plazo, utilizando software de planificación minera para determinar la cantidad de mineral a extraer, la secuencia de extracción y el calendario de producción
6. **Evaluación económica:** Esta etapa tiene como objetivo determinar la viabilidad financiera del proyecto minero propuesto. La evaluación económica implica analizar los costos y los ingresos asociados con la operación minera a lo largo del tiempo y compararlos para determinar si el proyecto es rentable.

3.3. SOFTWARES DE PLANIFICACION MINERA

Los softwares de planificación minera se utilizan para planificar y optimizar la extracción de minerales de manera eficiente. Estos programas ayudan a los ingenieros y planificadores de minas a diseñar y optimizar la secuencia de extracción de los yacimientos, determinando la mejor manera de explotar los recursos minerales disponibles mientras se minimizan los costos y maximizan los beneficios.

Estos programas pueden realizar diversas funciones, como la creación de modelos geológicos, la estimación de recursos y reservas, la simulación de escenarios de extracción, la planificación de la producción y la



programación de la operación minera. También tienen funciones de visualización 3D para mostrar cómo se desarrollará la mina con el tiempo y permite detectar posibles problemas.

Existen numerosos softwares de planificación minera en el mercado, y la elección del mejor software depende de las necesidades y requisitos específicos de la empresa minera. A continuación, presentamos algunos de los softwares de planificación minera más utilizados y sus características principales:

- MineSight: Desarrollado por Hexagon Mining, MineSight es un software integral de planificación minera que cubre todo el ciclo de vida de la mina. Ofrece una amplia gama de herramientas para la planificación de la mina, diseño de la mina, gestión de recursos y programación. MineSight se destaca por su capacidad de integración con otros sistemas de minería y su capacidad para modelar terrenos complejos. (*Hexagon Mining, 2023*).
- Surpac: Desarrollado por Dassault Systèmes, Surpac es un software de planificación minera ampliamente utilizado en la industria minera. Ofrece herramientas para la modelización geológica, diseño de la mina y programación de la producción. Una de las características destacadas de Surpac es su capacidad de importar y exportar datos de diferentes fuentes, lo que facilita la integración con otros sistemas de minería. (*Dassault Systèmes GEOVIA, 2023*)
- Deswik: Desarrollado por Deswik Mining Consultants, Deswik es un software de planificación minera de alta gama que se utiliza en todo el mundo. Ofrece herramientas para la planificación de la mina, diseño de la mina, gestión de recursos y programación. Deswik se destaca por su capacidad de modelar terrenos complejos y por sus herramientas avanzadas de visualización. (*Deswik, 2023*)
- Vulcan: Desarrollado por Maptek, Vulcan es un software de planificación minera que se centra en la modelización geológica y la planificación de la mina. Ofrece herramientas avanzadas para la modelización geológica, diseño de la mina y programación. Vulcan se destaca por su capacidad de integración con otros sistemas de minería y su enfoque en la visualización y la simulación. (*Maptek, 2023*).
- GEMS: Desarrollado por Gemcom Software International, GEMS es un software de planificación minera que ofrece herramientas para la planificación de la mina, diseño de la mina y programación de la producción. GEMS se destaca por su facilidad de uso y su capacidad de importar y exportar datos de diferentes fuentes. (*Dassault Systèmes, 2023*)

La elección del software de planificación minera adecuado dependerá de las necesidades y requisitos específicos de la empresa minera. Cada software tiene sus propias características y ventajas, y es importante evaluar cuidadosamente cada uno antes de tomar una decisión. En este trabajo se revisará en detalle los softwares Deswik y MineSight

3.3.1. DESWIK

Deswik es una empresa que se especializa en la creación de software para la industria minera y de recursos naturales, y su principal producto es Deswik.Suite. El software utiliza una variedad de algoritmos como lo son los algoritmos de programación lineal, algoritmos genéticos, Kriging, regresión lineal, redes neuronales, simulación de Monte Carlo. Estos algoritmos se utilizan para:

- Modelamiento y diseño: Deswik.Suite incluye herramientas para el modelado y diseño de minas a cielo abierto y subterráneas, que utilizan algoritmos para crear y analizar modelos geológicos y de recursos, y para diseñar la geometría de las excavaciones y las infraestructuras mineras.



Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil de Minas
“Estudio comparativo de software MineSight 15.7 y Deswik 2021.2 en planificación minera a largo plazo”

- Planificación de producción: Deswik.Suite cuenta con herramientas de programación minera que utilizan algoritmos de optimización para crear programas de producción detallados, considerando diferentes factores como los costos, las restricciones de capacidad y los objetivos de producción.
- Análisis de datos: El software incluyen herramientas de análisis de datos que utilizan algoritmos para procesar grandes cantidades de datos de producción y de recursos, y para identificar patrones y tendencias que pueden ayudar en la toma de decisiones.
- Algoritmos de estimación de recursos: Deswik.Suite cuenta con herramientas que utilizan algoritmos de estimación de recursos para determinar la cantidad y calidad de los materiales presentes en un yacimiento, lo que ayuda a las empresas a planificar y optimizar la extracción.
- Simulación: El software incluye herramientas de simulación que utilizan algoritmos para crear modelos numéricos de las operaciones mineras, lo que permite a las empresas probar diferentes escenarios y estrategias de producción antes de implementarlos en la vida real.

En general, Deswik utiliza una combinación de algoritmos para proporcionar una solución completa de software para la planificación minera y la gestión de operaciones. El uso de estos algoritmos será en base a los requerimientos de la empresa minera.

Deswik.Suite se puede personalizar según las necesidades específicas de cada cliente. Algunas de las herramientas que se utilizarán en el presente trabajo son DESWIK.CAD, DESWIK.SCHED, DESWIK.IS, DESWIK.OPSTS, DESWIK.BLEND. A continuación, se detallará sobre las herramientas antes mencionadas:

DESWIK.CAD

Deswik.CAD es una herramienta de diseño y modelado 3D desarrollada por la empresa Deswik, específicamente para la industria minera. Este software permite la creación de modelos geológicos y de recursos, el diseño de la geometría de las excavaciones y la infraestructura minera, y la planificación y visualización de la producción.

Este módulo CAD cuenta con una interfaz que permite la creación de modelos 3D con gran precisión y eficiencia. Además, el software incluye herramientas para la creación y edición de sólidos, líneas, curvas y superficies, así como para la creación de secciones transversales y perfiles. Entre las principales características de Deswik.CAD se encuentran:

- Modelado y diseño geológico: Permite la creación de modelos geológicos tridimensionales de alta precisión, utilizando datos geológicos y de recursos.
- Diseño de la geometría de las excavaciones: Permite la creación y diseño de la geometría de las excavaciones. Incluyendo pozos, rampas, galerías y túneles.
- Diseño de la infraestructura minera: Permite la creación y diseño de la infraestructura minera, incluyendo las instalaciones de procesamiento, el transporte y la ventilación.
- Planificación de la producción: Permite la planificación detallada de la producción, teniendo en cuenta diferentes factores como los costos, la capacidad y los objetivos de producción.



- Visualización y presentación: Permite la visualización en tiempo real de los modelos 3D, así como la creación de presentaciones y animaciones para la comunicación de los resultados.

Deswik.CAD, posee una serie de herramientas las cuales pueden utilizar según las necesidades de cada proyecto. Dentro de estas herramientas, existen softwares integrados que cumplen con diferentes objetivos. Para el presente trabajo, se utilizaron los siguientes softwares integrados dentro de Deswik.CAD:

- DESWIK.OPSTS: Es una herramienta que permite simplificar la planificación de corto plazo para minas de rajo abierto.
- DESWIK.IS: Es un programador interactivo que combina el DESWIK.CAD con el DESWIK.SCHED para conectar diseños y planificaciones de mina de un modo dinámico. Esta herramienta permite cerrar la brecha entre el diseño y la planificación.

DESWIK.SCHED

Deswik.SCHED es una herramienta de programación y optimización de la producción minera desarrollada por la empresa Deswik. Este software permite la planificación y programación de la producción en operaciones mineras subterráneas y a cielo abierto, teniendo en cuenta factores como la geometría de la mina, los recursos disponibles, los costos y las restricciones operativas.

Deswik.SCHED cuenta con una interfaz que permite la creación y edición de planes de producción detallados y precisos. Además, el software utiliza algoritmos avanzados de optimización para maximizar la productividad y la rentabilidad de las operaciones mineras.

Entre las principales características de Deswik.SCHED se encuentran:

- Programación de producción: Permite la creación de planes de producción detallados y precisos, teniendo en cuenta diferentes factores como la geometría de la mina, los recursos disponibles, los costos y las restricciones operativas.
- Optimización de la producción: Utiliza algoritmos avanzados de optimización para maximizar la productividad y la rentabilidad de las operaciones mineras, teniendo en cuenta diferentes objetivos y restricciones.
- Planificación a largo plazo: Permite la planificación a largo plazo de la producción minera, teniendo en cuenta los objetivos estratégicos de la empresa.
- Simulación de escenarios: Permite la simulación de diferentes escenarios y estrategias de producción para evaluar su impacto en la rentabilidad y la productividad de la operación minera.

Un módulo complementario para DESWIK.SCHED es DESWIK.BLEND, la cual es una herramienta desarrollada para cumplir con los desafíos de programación de material, manejo y producción de productos. Blend programa el material disponible teniendo en cuenta límites de acopio, restricciones de flujo, capacidades de planta y objetivos de producción.



3.3.2. MINESIGHT

Minesight es un sistema integrado de modelación en 3D y visualización de datos para aplicaciones geológicas y de ingeniería minera, creado en 1970 por la empresa Hexagon AB. El software Minesight, al igual que su competencia Deswik, utiliza una serie de algoritmos que permiten optimizar procesos y tomar decisiones más informadas en la industria minera. Algunos de estos algoritmos son de programación lineal entera, Kriging, algoritmos genéticos, algoritmos de modelos matemáticos de bloques entre otros. Algunas de las utilidades de estos algoritmos son:

- Optimización de la secuencia de minado: Los algoritmos de optimización se utilizan para encontrar la secuencia óptima de extracción de los bloques de mineral en la mina a cielo abierto o subterránea. Esto puede ayudar a maximizar la recuperación del mineral y minimizar los costos operativos asociados con la extracción y el transporte.
- Optimización de la planificación de producción: Los algoritmos ayudan a optimizar la planificación de producción para cumplir con los objetivos de producción establecidos, teniendo en cuenta restricciones operativas, capacidad de equipos y requisitos de procesamiento.
- Estimación de recursos y reservas: Los algoritmos de interpolación y generación de bloques permiten estimar y modelar las reservas minerales de manera más precisa, lo que es esencial para una planificación minera adecuada y una toma de decisiones informada.
- Diseño y planificación geotécnica: Los algoritmos también pueden ayudar a evaluar la estabilidad geotécnica de los taludes y diseños de minas, lo que contribuye a la seguridad y eficiencia de la operación minera.

MINE PLAN

MinePlan es una herramienta de planificación minera que complementa el software MineSight. Esta herramienta se utiliza para realizar diversas tareas relacionadas con la planificación de minas a cielo abierto y subterráneas. Algunas de las principales funciones de MinePlan incluyen:

- Diseño de minas: MinePlan permite diseñar la secuencia de minado y la disposición óptima de bancos en minas a cielo abierto. Además, también permite crear diseños para el acceso y la explotación de yacimientos subterráneos.
- Planificación de producción: La herramienta ayuda a planificar la producción minera a lo largo del tiempo, teniendo en cuenta factores como la ley del mineral, la capacidad de los equipos y las restricciones operativas.
- Estimación de reservas: MinePlan facilita la estimación y modelado de las reservas de mineral, lo que es esencial para la planificación minera y el análisis económico.
- Optimización: La herramienta utiliza algoritmos de optimización para maximizar la eficiencia del proceso de extracción y minimizar los costos operativos.
- Generación de informes técnicos: Con MinePlan, es posible generar informes técnicos y presentaciones para comunicar los resultados del proceso de planificación a los interesados y las autoridades reguladoras.



MinePlan, además cuenta con una herramienta complementaria que se enfoca en la optimización de la programación minera, MPSO.

MPSO

MinePlan y MPSO trabajan en conjunto para ofrecer una solución completa para la planificación y programación minera. Mientras que MinePlan se encarga de las tareas de diseño minero, estimación de reservas y análisis geotécnico, entre otras funciones, MPSO se enfoca específicamente en la optimización del cronograma de producción. Algunas de las características y funcionalidades que ofrece MPSO son:

- Programación y secuenciación: MPSO utiliza algoritmos avanzados de optimización para determinar la secuencia óptima de extracción de los bloques de mineral. Esto ayuda a maximizar la recuperación del mineral y minimizar los costos operativos.
- Cumplimiento de restricciones: La herramienta tiene en cuenta diversas restricciones operativas, como capacidades de equipos, condiciones geotécnicas y limitaciones de procesamiento, para generar un cronograma factible y seguro.
- Escenarios "What-If": MPSO permite probar diferentes escenarios hipotéticos y evaluar su impacto en el plan de producción. Esto ayuda a los planificadores mineros a tomar decisiones informadas y adaptar el cronograma según las necesidades cambiantes.
- Optimización a largo plazo: La herramienta puede abordar la programación a largo plazo, teniendo en cuenta múltiples etapas de la mina y considerando diferentes fases de desarrollo del yacimiento.



4. METODOLOGÍA

Para cumplir con los objetivos propuestos se utilizará procedimiento graficado en la **Ilustración 2**, el cual presenta el proceso a realizar para la obtención del Plan Minero a partir del software Deswik para luego realizar la comparación con lo obtenido por MineSight.

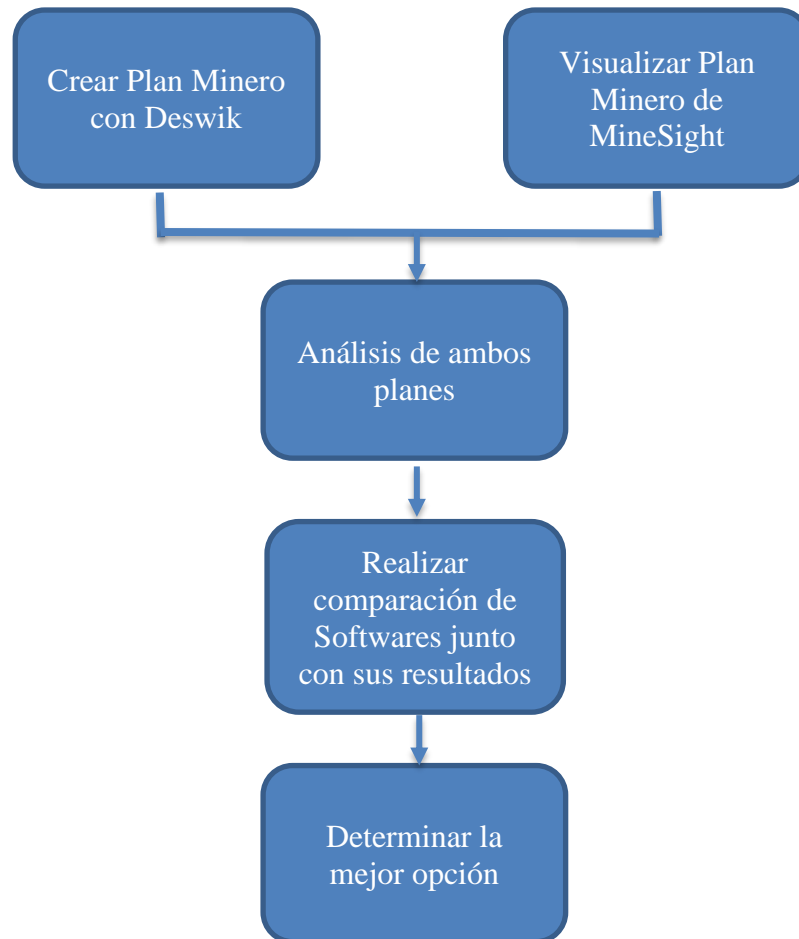


Ilustración 2: Metodología seleccionada.

A continuación, se detallará la metodología utilizada en el presente trabajo:

4.1. PLAN DE EXTRACCION CON DESWIK

4.1.1. DESWIK.CAD

Para comenzar con el proyecto, se debe crear un archivo Deswik.CAD, la cual permitirá interactuar con los sólidos en un ambiente 3D. Para el caso de este proyecto, se realizó el siguiente procedimiento



1) IMPORTAR DATA INICIAL

Ya en un ambiente 3D, se debe importar los sólidos a utilizar y el modelo de bloques correspondientes al terreno.

2) VISUALIZAR Y CUBICAR

Para la correcta realización del proyecto, es importante conocer los datos con los que se trabajará. Es por esta razón que se deben generar las leyendas de ciertas variables de mayor importancia, como lo pueden ser las leyes, para poder visualizar el modelo de bloques con el que se trabajara. Por otro lado, se debe realizar una cubicación de los datos para un mayor entendimiento de estos. Es importante saber tonelajes de cada uno de los sólidos, sus volúmenes, densidades medias, etc.

3) SEGMENTAR LOS SOLIDOS

Una vez importados los sólidos, se procederá a segmentar las fases a nivel banco. Para este proceso, se utilizará dos diferentes herramientas.

- **DESWIK.OPSTS:** Deswik.OPSTS (*Open Pit Short Term Scheduling*) se utiliza para planes de corto plazo para minas de cielo abierto, pero en este caso, se utilizará para generar cortes con mayor detalle en las primeras fases. Con esta herramienta se realizan los cortes de manera manual.
- **Cortes con Grilla:** Otra forma de realizar los cortes es mediante el uso de una grilla la cual se intercepta con cada uno de los sólidos correspondientes y generará los cortes según el tamaño elegido para la grilla. Esta manera de generar los cortes se utiliza principalmente para planificación de largo plazo, ya que es un proceso rápido y con menor detalle.

4) GENERAR UN ID ÚNICO

Cada solido generado, debe tener un atributo “ID” que sea único para cada sólido. La idea de este atributo es entregar información rápida y característica del bloque. Tener ID iguales en diferentes bloques no permitiría generar las tareas dentro de la Carta Gantt.

5) AGREGAR VARIABLES EN EL MODELO DE BLOQUES

Agregar variables a un modelo de bloques puede ser útil para mejorar la precisión de las estimaciones y eficiencia de planificación.

6) DESWIK.IS

La herramienta Deswik.IS permite conectar los diseños de planificaciones de mina de un modo dinámico. Esta herramienta generara que cada uno de los sólidos cortados anteriormente, pase a ser una tarea dentro de un diagrama Gantt. Para generar un proyecto Deswik.SCHED se deben configurar ciertas áreas de esta herramienta.

- **Campos de producción:** Los campos de producción se utiliza para modelar y analizar operaciones mineras. Estos son campos de datos que se utilizan para representar los volúmenes y las leyes de los materiales producidos en una operación minera. Estos campos suelen estar asociados con los bloques de extracción en un modelo de bloques y pueden incluir datos como la ley de metal, la densidad del mineral, el tonelaje producido, la recuperación y la ley de corte. Los campos de producción son



esenciales para el cálculo de las reservas minerales y la optimización de la producción. Por lo tanto, es importante crearlos para poder reportar las variables mencionadas anteriormente.

- **Campos de material:** Los campos de material son otro campo de datos utilizados para modelar y analizar las operaciones mineras. Son campos de datos que se utilizan para representar las características físicas y químicas de los materiales en una operación minera. Estos campos pueden incluir datos como la dureza del mineral, la densidad, la ley de metal, la humedad, etc. Los campos de material son importantes para la modelación de la fragmentación del mineral y el diseño de las rutas de procesamiento. Al igual que en el inciso anterior, es necesario crear los campos de material principalmente para la generación de un plan de producción.
- **Tipo de actividad:** Para la creación de tareas es importante definir el tipo de actividad a realizar en la tarea. Para esto, se deben generar una o más tipo de actividades. Una actividad puede ser cualquier tarea dentro del proceso de extracción, procesamiento o transporte de minerales, como perforación, voladura, extracción, carguío, transporte, chancado, entre otros.

Con los sólidos debidamente cortados y las variables debidamente configuradas, se tiene la capacidad de representar cada sólido creado en el software Deswik.CAD como una tarea individual en el entorno del Deswik.SCHED. Cada una de estas tareas incorporará la información correspondiente al sólido respectivo, incluyendo aspectos como tonelaje, volumen, fase y banco asociados, entre otros detalles relevantes. Esta integración entre Deswik.CAD y Deswik.SCHED facilitará la planificación de las actividades mineras a largo plazo, permitiendo la programación eficiente y la optimización de los recursos involucrados en el proceso de extracción y procesamiento de los recursos minerales. La Carta Gantt resultante se convertirá en una valiosa herramienta para la gestión y el monitoreo del progreso del proyecto, posibilitando una toma de decisiones fundamentada y asegurando la efectividad y eficacia en la planificación minera.

4.1.2. DESWIK.SCHED

En este apartado se mencionarán todas las configuraciones realizadas para la obtención del plan minero de extracción y producción.

1) DEFINIR FECHA INICIO

Lo primero que se debe definir en el proyecto Deswik.SCHED es la fecha en la que se inicia el proyecto a agendar.

2) DEFINIR DEPENDENCIAS

Las dependencias son las relaciones o restricciones que existen entre diferentes elementos o actividades dentro del proceso de extracción de minerales. Estas dependencias juegan un papel crucial en la creación de un plan minero factible y efectivo, ya que afectan directamente la secuencia de trabajo y la asignación de recursos en la operación minera. Para este caso, se utilizarán dos tipos de dependencias:

- **Dependencias entre fases:** Es esencial reconocer que ciertas fases están condicionadas por otras, es decir, que ciertas etapas deben ser minadas previamente para avanzar con las subsiguientes. Por consiguiente, a través del software, se debe identificar claramente qué fases se encuentran por debajo de otras, ya sea parcial o completamente. Una vez que se han identificado las dependencias entre fases, se procederá a establecer las interconexiones basadas en el atributo "Bench". Para ello, se especificarán la fase predecesora y la fase sucesora, y posteriormente se vincularán los sólidos en función de este atributo. De este modo, el software realizará la extracción primero en el banco correspondiente a la fase predecesora y luego en el banco relacionado con la fase sucesora, asegurando así una secuencia lógica y eficiente en el proceso minero.



- **Dependencias dentro de la fase:** El proceso de extracción a cielo abierto comienza desde la zona más elevada hasta la más profunda. Esta información no es asumida por el Software, por lo que se le debe señalar que debe minar desde lo más superficial a lo más profundo. Para esto se debe identificar diferentes factores los cuales permitirán al software identificar cuales bloques dependen de que bloques. Estos factores serán presentados a continuación:

Ángulo del Frente: Se refiere al ángulo formado entre el frente de excavación de una mina y la línea de máxima pendiente de la superficie del terreno. Las dependencias solo se crean entre tareas que darán como resultado un ángulo de cara menor o igual que el valor especificado. La **Ilustración 3** muestra ejemplos de la utilización del ángulo de frente.

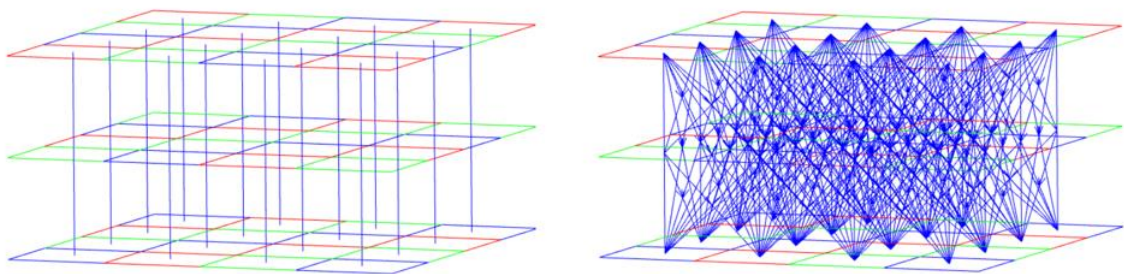


Ilustración 3: Representación del ángulo de frente. En el caso de la izquierda se tiene un ángulo de 90° y en el caso de la derecha se tiene un ángulo de 37° . (DESWIK).

Altura máxima del enlace vertical: Se refiere a una regla de programación que establece la distancia vertical máxima permitida entre dos tareas consecutivas en una secuencia de extracción minera. La **Ilustración 4** presenta un ejemplo de esta variable

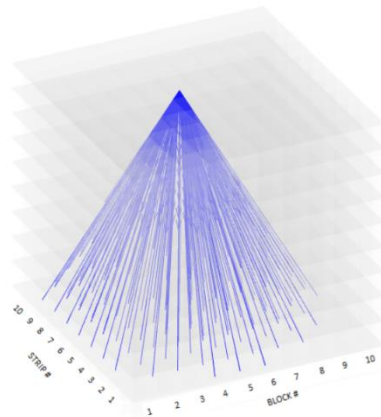


Ilustración 4: Representación de la altura máxima del enlace vertical. En el ejemplo muestra una altura máxima de 10 metros (DESWIK).



Altura mínima del enlace vertical: Las dependencias solo se crean entre tareas que están a más de esta distancia entre sí verticalmente.

Distancia máxima de enlace horizontal: Las dependencias solo se crean entre tareas que están a menos de esta distancia entre sí horizontalmente.

3) RECURSOS

Es importante definir el tipo de recurso que extraerá el mineral conjunto de sus características. En este proceso, se debe definir el o los recursos a utilizar, la cantidad, la producción que tendrán, su calendario de trabajo y sus diferentes factores operacionales. Una vez definido los recursos, estos deben ser asignados a las tareas presentes en la carta Gantt, esta asignación de recursos puede ser de manera automática o manual, pero es importante definir que recurso se le quiere asignar a cada tarea.

4) RESTRICCIONES

De acuerdo con las operaciones de cada mina, hay ciertas restricciones que se deben cumplir en las operaciones para generar planes factibles operacionalmente. Estas restricciones pueden tener diferentes motivos como lo puede ser, seguridad, costos, eficiencia en la operación u operatividad de la mina. A continuación, se presentarán algunas restricciones comunes:

- Número de bancos a minar simultáneamente
- Número de fases a minar simultáneamente
- Número de recursos a utilizar simultáneamente
- Fecha de inicio y/o termino de las fases
- Tonelaje para minar por periodo

5) SIMULACION

Una vez realizadas todas las configuraciones anteriormente mencionadas es posible generar el plan de extracción de la mina. Para esto se debe simular el caso, en donde el software considerará las dependencias, los recursos y restricciones especificadas en el programa.

4.2. PLAN DE PRODUCCIÓN CON DESWIK

El plan de producción a generar tendrá en consideración el plan de extracción obtenido del proceso anterior. A continuación, se mencionarán las configuraciones a realizar dentro de este proyecto para la obtención de este plan:

4.2.1. MATERIALES

Los campos de materiales generados anteriormente se utilizarán para generar tipos de materiales según ciertas características en específico. Por ejemplo, se puede crear un material que se llame “Alta ley” que corresponda a todos los bloques que contengan una ley de hierro mayor a 50% y que su categoría sea diferente a “5” (Sin información). Esta herramienta permite tener una mejor clasificación del tipo de material que se extrae de la mina. Los tipos de materiales a generar serán definidos según los requerimientos de la empresa minera.



4.2.2. DESWIK.BLEND

Una vez ya generado el plan de extracción, mediante el uso de la herramienta BLEND se generará un plan de producción.

a) MODELO DE FLUJO

Primero que todo, se deberá generar un modelo de flujo. En este modelo se representará gráficamente todas las posibilidades de flujo. Se deberá agregar la mina, plantas, las pilas de almacenamiento, botaderos y los flujos para representar desde donde provienen los materiales y hacia donde se pueden dirigir.

b) PERIODOS

Una vez ya representado el modelo de flujo, se deben definir los periodos de mezcla. Esto debido a que las decisiones tomadas por Deswik.BLEND se harán dentro de cada periodo definido. A estos periodos se les aplicaran las restricciones y los objetivos económicos.

c) MATERIAL SELECTION

De las clasificaciones creadas en “Materiales”, se deben seleccionar los tipos de materiales a usar en el proceso de mezcla.

d) ACEPTACIÓN DE MATERIALES

Luego, según los materiales seleccionados a utilizar y el modelo de flujo creado, se debe señalar que material acepta cada uno de los destinos.

e) ALMACENAMIENTO INICIAL

En caso de existir un almacenamiento inicial, es necesario señalarlo y definir sus características físicas y mineralurgias, tales como masa, volumen, densidad, leyes de los diferentes minerales, humedad, recuperación de mineral, etc.

f) REGLAS Y RESTRICCIONES

Una vez creada la configuración del modelo, se deben generar las restricciones de flujo a aplicar en la mezcla de minerales. En estas restricciones se debe señalar el flujo que se restringirá, el tipo de material, el campo de material y el tipo de restricción (mínimo, máximo o igual). Una vez definido lo anteriormente, se debe señalar con un valor numérico “A qué valor se restringirá”, el cual se debe señalar para cada periodo de mezcla señalado anteriormente. Estas reglas pueden estar relacionadas a los tonelajes recibidos en cada uno de los destinos, leyes mínimas de mineral de interés, leyes máximas de impurezas que afectan a la calidad del producto, etc. Todas estas restricciones deben generarse teniendo en cuenta las necesidades del proyecto.

g) PENALIZACIONES

Para que el software entienda cuales son las restricciones más importantes deben generarse penalizaciones a cada una de las restricciones. Estas penalizaciones deben estar representadas con un número que sea



potencia de 10 (1, 10, 100, 1000, etc). Si se aplican penalizaciones con valores numéricos más grandes, el software entenderá que esta restricción tiene una mayor prioridad. Todas las restricciones creadas anteriormente serán restricciones “blandas”, osea que, si el software no puede cumplir con la restricción, entregará el mejor resultado posible. En caso de necesitar una restricción “dura”, osea que la restricción se debe cumplir al 100%, esta debe ser señalada con un valor de “-1” en las penalizaciones. El valor de las penalizaciones debe estar señalado para cada periodo de mezcla.

h) OBJETIVOS ECONOMICOS

Finalmente, se debe señalar los objetivos económicos que se tienen con el proyecto. Para esto se debe entregar la tasa de descuento anual, los ingresos generados por kilogramo de producto y los costos del proyecto (costo mina, costo planta, etc)

i) SIMULAR EL CASO

Una vez creado todo el marco del proyecto, se debe simular para obtener el plan de producción el cual considerará la mezcla de minerales para cumplir con las restricciones mencionadas.

4.3. ANÁLISIS HERRAMIENTAS MINESIGHT Y SUS RESULTADOS

Para entender el proceso de la obtención del plan de producción a partir de MineSight se deberá ingresar al software y navegar dentro de su interfaz. Luego de esto, interactuar con las herramientas que se deberían utilizar para la creación del plan de producción.

Las herramientas para analizar serán: las herramientas de corte, de modificación en el modelo de bloques, de cubicación, y las herramientas correspondientes al agendamiento de bloques tales como lo son las de definición de flujo, periodos, materiales, restricciones, objetivos económicos y objetivos a optimizar, secuenciación y equipos de carguío.

4.4. COMPARACIÓN DE SOFTWARE'S

Dentro de este estudio comparativo, los puntos a comparar serán:

- Resultados plan de producción
- Facilidad de uso
- Tiempos de espera

Además de los puntos mencionados anteriormente, se presentarán algunas diferencias en las herramientas entre ambos softwares junto con ventajas comparativas de cada uno.



5. RESULTADOS

5.1. CASO DE ESTUDIO

5.1.1. MODELO DE BLOQUES

La empresa minera, puso a disposición el modelo de bloques el cual, representa, mediante pequeños sectores (bloques), la zona geológica de interés. Este modelo entrega información respecto al sector en el cual se encuentra el bloque.

Primero que todo, el modelo de bloques tiene origen en 660.000 metros en la coordenada Este, 7.895.000 metros en la coordenada Norte y 10 metros en la elevación. A partir de ahí, el modelo se extiende 15.000 metros en el Este, 35.000 en el Norte y 1.500 en elevación. Por otro lado, las dimensiones de cada bloque son 20 x 20 x 15 metros.

Con respecto a la información mineralurgia, el modelo contiene leyes de FE, SI, AL, P, MN, TI, CA, MG, K, NA. Dentro de estas, las más importantes son el FE, que es el mineral de interés para esta mina, el AL y P que serán minerales contaminantes para el concentrado de hierro, por lo que se tendrá que controlar su flujo a planta.

El modelo también contiene información de las características del suelo como la densidad, la humedad y la litología. Para la densidad, cada bloque contendrá su valor, pero es cierto que algunos bloques tienen valores nulos (Ej: “-1”), por lo que se debe definir en el modelo que la densidad predeterminada para estos casos será de 2.8 [ton/m^3]. Para la litología, el modelo cuenta con 25 tipos de litología, donde las primeras seis cuentan con mineral de interés, dejando las ultimas como estéril. En **Anexos 8.1** se presenta una tabla que muestra la información descrita.

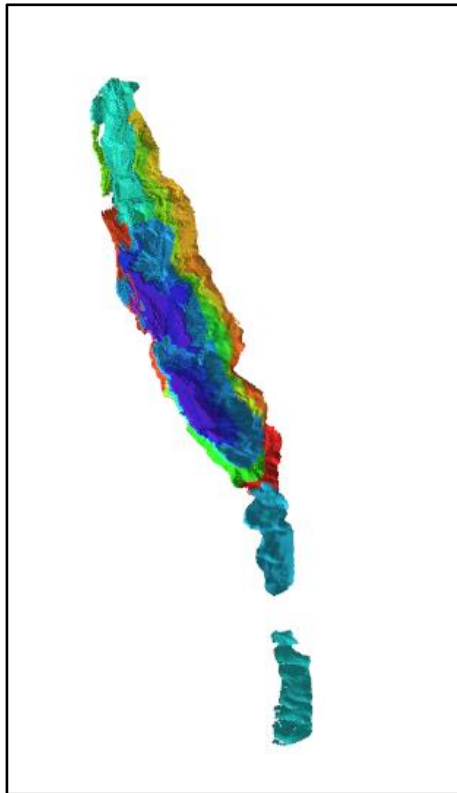
Finalmente, el modelo contiene el tipo de clasificación del bloque. La categoría del bloque representa el nivel de confianza que se tiene en el proceso de estimación del bloque. La **Tabla 1** contiene los valores presentes en el modelo a utilizar

Tabla 1: Categorías presentes en el modelo de bloques.

Categoría	
Valor	Descripción
1	Medido
2	Indicado
3	Inferido
5	Sin información

5.1.2. SÓLIDOS

Por otro lado, la empresa minera puso a disposición los sólidos correspondientes a cada una de las fases del proyecto. La **Ilustración 5** muestra una representación de las fases.



<i>Fase</i>	<i>COLOR</i>
PB01	Dark Purple
PB02	Dark Blue
PB03	Blue
PB04	Light Blue
PB05	Medium Blue
PB06	Light Blue
PB07	Light Blue
PB08	Cyan
PB09	Teal
PB10	Green
PB11	Light Green
PB12	Light Green
PB13	Bright Green
PB14	Light Green
PB15	Light Green
PB16	Light Green
PB17	Light Green
PB18	Light Green
PB19	Yellow
PB20	Yellow
PB21	Yellow
PB22	Yellow
PB23	Yellow
PB24	Orange
PB25	Red

Ilustración 5: Representación de los sólidos correspondiente a cada una de las fases de la mina de estudio.

Cada uno de los sólidos presentados contiene información que será útil dentro del proyecto. Esta información estará guardada en diferentes atributos. A continuación, se presentarán los principales atributos a utilizar:

- **“PB_NAME”**: Entrega la información de la Fase del sólido seleccionado. Este atributo entrega la información con el prefijo “PB” y, luego, el número de la fase correspondiente. Ejemplo “PB09” corresponde a la fase nueve.
- **“BENCH”**: Entregara la información del Banco en el que se encuentra el sólido seleccionado. Este atributo entrega la información como valor numérico. Considerando que el tamaño de cada bloque es de 15 metros, existen un total de 46 bancos.
- **“ID”**: Este valor es un numero identificador de cada sólido. Debe ser un valor único para cada uno de los sólidos

En primer lugar, se establece el caso a estudiar. Para el desarrollo de la presente memoria se trabajará con los datos de una mina compuesta por 25 fases de extracción de las cuales se extraer aproximadamente 80 millones de toneladas por año y capacidad de procesamiento que supera los 50 millones de toneladas de mineral de fierro al año. Este flujo de material permite producir del orden de 28 millones de toneladas por año de concentrado de fierro.

Para el caso de la presente memoria, se considerará que el producto generado del proceso metalúrgico Reducción Directa tendrá las características presentadas en la **Tabla 2**



Tabla 2: Características metalúrgicas del proceso de Reducción Directa.

Proceso metalúrgico	Recuperación (%)	Ley de hierro en el producto (%)
DR	$1.331306355 * FE - 0.05087284$	68

5.2. PLAN DE EXTRACCIÓN CON DESWIK

5.2.1. IMPORTAR DATA INICIAL

Primero que todo, es necesario importar la data inicial. Esta contempla los sólidos correspondientes a las fases, y el modelo de bloques a utilizar. Al importar los sólidos, se observa lo presentado en la **Ilustración 6**:

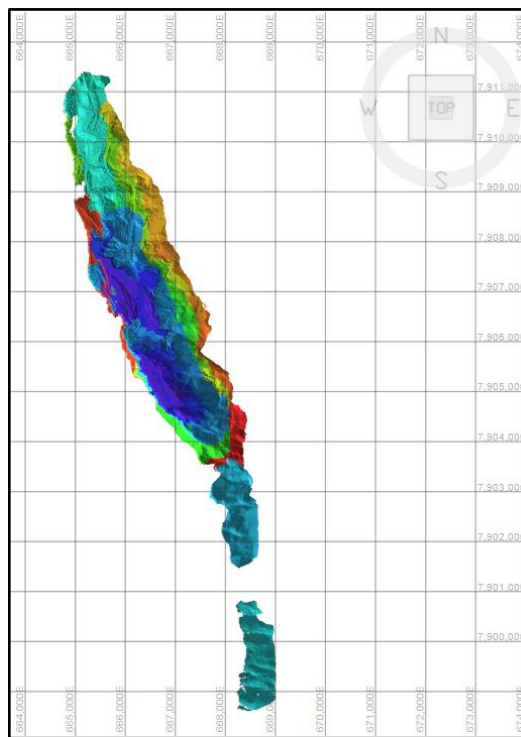
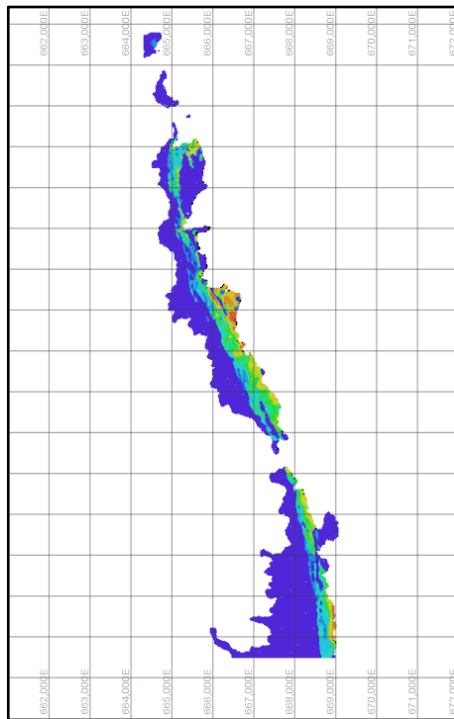


Ilustración 6: Sólidos de la mina de hierro.

El archivo contiene 25 sólidos, los cuales cada uno corresponde a una fase de la mina. Una vez ingresado los sólidos, se procede a importar el modelo de bloques.

5.2.2. CUBICACIÓN Y VISUALIZACIÓN

Una vez importados los sólidos y el modelo de bloques, se procede a visualizar la ley de hierro contenida en cada como se presenta en la **Ilustración 7**.



Ley de hierro	COLOR
0-25	Purple
25-27	Dark Blue
27-29	Blue
29-31	Light Blue
31-33	Cyan
33-35	Light Green
35-37	Green
37-39	Light Green
39-41	Green
41-43	Light Green
43-45	Yellow-Green
45-50	Yellow
50-55	Orange
55-60	Dark Orange
60-65	Red

Ilustración 7: Visualización del modelo de bloques según la ley de hierro en la cota 845.

En la **Ilustración 7** se puede observar una vista de la cota 845 de la mina, en donde se ve representada la ley de hierro contenida en el modelo de bloques. Junto con ello, la **Ilustración 8** presenta un histograma de los tonelajes por leyes.

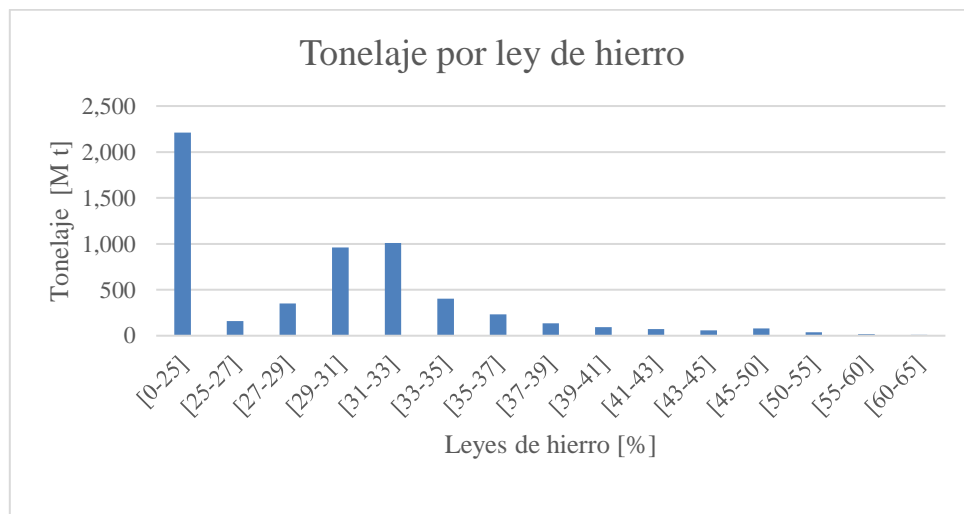


Ilustración 8: Histograma de leyes de hierro.

De la **Ilustración 8** se puede observar que el material con una ley menor a 25% corresponde a un 40% del total del mineral. Como se mencionó anteriormente, la ley de cortes para este caso de estudio es del 25%, por lo que todo este material representa al estéril.



Por otro lado, para obtener más características de los sólidos, se realiza una cubicación a los sólidos presentes en la **Ilustración 5**. Esta cubicación se encuentra en la **Tabla 3**

Tabla 3: Cubicación por fases.

Fase	Masa (M t)	Ley de Hierro (%)
PB01	59,4	38
PB02	59,2	39
PB03	56,1	39
PB04	69,0	41
PB05	62,1	38
PB06	683,8	30
PB07	162,8	35
PB08	97,5	41
PB09	256,8	28
PB10	182,1	31
PB11	55,5	20
PB12	61,2	29
PB13	76,7	25
PB14	489,9	27
PB15	90,9	22
PB16	213,6	23
PB17	130,8	22
PB18	404,2	29
PB19	106,5	20
PB20	234,4	24
PB21	382,1	22
PB22	240,3	21
PB23	188,8	25
PB24	1.213,0	26
PB25	281,9	26
TOTAL	5.858,9	27

A partir de los datos presentados en la **Tabla 3**, se puede decir que la mina compuesta por 25 fases tiene un tonelaje total de 558.836.953 (t), que ocupan un volumen de 4.338.590.621 [m³] con una ley de fierro del 27%. Además, se puede observar que las fases con el mayor tonelaje y tamaño son las fases 6 y 24, mientras que las primeras fases se destacan por tener las mejores leyes, especialmente la fase 4.

Siguiendo con las cubicaciones, procedemos a observar la masa de material correspondiente a cada categoría y a cada litología. Esta información se encuentra en las **Tablas 4 y 5** respectivamente

Tabla 4: Cubicación por categoría de mineral.

Categoría	Masa (M t)
1 (Medido)	1.700,8
2 (Indicado)	1.724,6



3 (Inferido)	155,2
5 (Información no detallada)	2.274,4
TOTAL	5.855,0

Tabla 5: Cubicación por litología del mineral.

Litología	Masa (M t)
2	4,35
3	725,4
4	329,4
5	2424,8
6	79,2
7	1,8
Litología “Estéril”	2247,9
TOTAL	5.812,8

Lo primero que se rescata de la información de las **Tablas 4 y 5** es que no todos los bloques contienen la información de categoría y litología, por lo que se pueden observar diferencias en los tonelajes totales de cada una de las cubicaciones. Además de esto, se destaca la gran cantidad de material correspondiente a la categoría 5 el cual corresponde cerca del 39% de los datos. En cuanto a las litologías, se destaca la gran cantidad de material de litología 5 representando cerca del 42% del total del material. Además, como se mencionó anteriormente, las primeras litologías corresponden a material “Mineral”, los cuales representarían cerca del 62% del total del material presente en la mina.

5.2.3. SEGMENTAR LOS SÓLIDOS

- **OPSTS**

Para realizar los cortes de los sólidos, primero se utiliza la herramienta de corte de Deswik.OPSTS, la cual es usada principalmente para planificación a corto plazo, pero para este estudio se utilizará para tener un mayor detalle en los cortes de las primeras 13 fases. A través de los cortes, se generarán dos tipos de sólidos:

- Sólidos Borde: Permitirán identificar aquella parte del sólido se encuentra en contacto con el talud del pit.
- Sólidos Producción: Permitirán identificar aquella parte del sólido que será dividida entre las unidades de producción principal.

Las medidas de diseño a considerar para cada uno de los polígonos/sólidos a generar fueron las siguientes:

- Borde: 41 metros de ancho y 200 metros de largo aproximadamente.
- Producción: 100 metros de ancho 200 metros de largo aproximadamente

La **Ilustración 9** representa un ejemplo de los cortes realizados

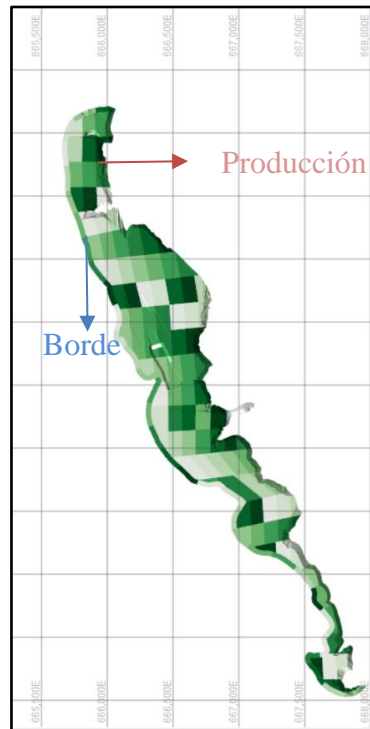
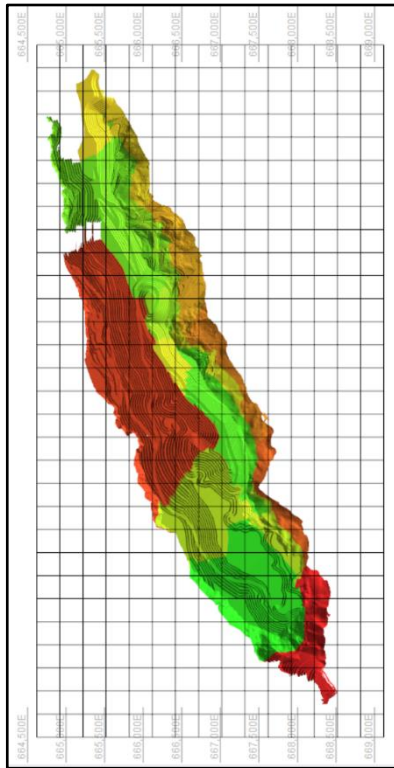


Ilustración 9: Ejemplo de los cortes generados a partir de la herramienta Deswik.OPSTS al banco 775 de la fase 6.

Esta diferenciación de sólidos se guardará en un atributo llamado “Block_Type”, el cual tendrá la información si es que el bloque corresponde a un bloque de borde o uno de producción.

• GRILLA

Para las fases 14 en adelante, la forma de cortar los sólidos será mediante el uso de la grilla la cual realiza los cortes de una manera más rápida, pero con menos detalles. La grilla generada tiene dimensiones de 300 x 300 [m²]. Además, los cortes se realizarán cada 15 metros debido a que los bancos poseen esas dimensiones. Al aplicar la grilla a los sólidos se obtiene lo observado en la **Ilustración 10**:



<i>Fase</i>	<i>COLOR</i>
PB14	Green
PB15	Light Green
PB16	Yellow-Green
PB17	Yellow
PB18	Light Yellow
PB19	Yellow-Orange
PB20	Orange
PB21	Dark Orange
PB22	Brown-Orange
PB23	Brown
PB24	Dark Brown
PB25	Red

Ilustración 10: Representación de la grilla utilizada para los cortes de las fases 14 a la 25.

Como esta herramienta no permite realizar los cortes en detalle, todos los bloques se considerarán Producción en la variable “Block_Type”.

Los cortes realizados mediante las dos herramientas generaron un total de 9.559 sólidos, de los cuales, 2.274 corresponden a bloques de Borde y 7.285 a bloques de Producción.

5.2.4. GENERAR ID ÚNICO

En este caso, se genera un ID de tal manera que este entregue información rápida sobre el sólido con el que se esté trabajando. El ID generado contiene información del número de la fase, el banco, el tipo de bloque y un numero identificador único de cada sólido. La expresión que generara este ID se encuentra en la **Ecuación 1**

$$ID = PB\ NAME + _ + BENCH + _ + BLOCK\ TIPE + _ + *HANDLE \quad (1)$$

5.2.5. AGREGAR VARIABLES AL MODELO DE BLOQUES

Pensado en el plan de producción, se generaron nuevas variables en el modelo de bloques, las cuales permitirán estimar de mejor manera los tonelajes de concentrado obtenido. Para esto, se generarán variables de Recuperación y Masa Recuperada. De esta forma, se debe generar la ecuación que representara la recuperación del bloque mediante la **Ecuación 2**:



$$Recuperacion_{DR} = 1.331306355 * FE - 0.05087284 \quad (2)$$

Una vez ya obtenida la recuperación, se debe calcular la masa recuperada del bloque mediante la **Ecuación 3**

$$Masa\ Recuperada_{DR} = Recuperacion_{DR} * Masa \quad (3)$$

De esta forma, se obtendría la masa de concentrado que generara cada uno de los bloques en caso de ser procesado.

5.2.6. DESWIK.IS

En el apartado de Deswik.IS (Interactive Scheduling) se debe ingresar ciertos parámetros que serán necesarios para la creación del documento Deswik.SHED. Dentro de esa información estará el tipo de actividad a realizar en el proyecto y algunas variables físicas y químicas que se necesitarán para realizar reportes o definir ciertas restricciones de flujo. La información que se ingresó para el caso de este trabajo fue la siguiente:

- **Materiales:** Se ingresaron algunas variables físicas de los bloques, como lo son los volúmenes, tonelajes y densidades de los sólidos. Además de estas variables, se seleccionaron las variables químicas de los sólidos, como lo pueden ser las leyes de los diferentes elementos. Finalmente, se agregaron las variables metalúrgicas correspondientes a la recuperación de mineral de cada bloque y las toneladas de concentrado que generaría el bloque.
- **Tipo de Actividad:** Específicamente para este proyecto se ingresó la actividad de “Extracción”, ya que esta será la actividad que representaría la extracción de la mina. Junto con la actividad, se debe asignar una tasa de producción estándar. Esta tasa de producción puede variar al momento de asignar un recurso, donde la nueva tasa de producción será la correspondiente al equipo.

Una vez configurado el Deswik.IS se procede a generar el documento SCHED, donde cada sólido recortado anteriormente será una tarea para realizar dentro de la Carta Gantt. Lo obtenido en este proceso se observa en la **Ilustración 11**

ID	Name	Description	Task rate	Duration	Percentage complete	Start	Finish	Task mode	Tonnes	2022	2023	2024	2025
207	AAA PB01_925_Pro	CARGUIO	3200.00/t/h	5.284	0.00	13/05/2023 9:2	20/05/2023 10	Auto Schedul	418,037				
208	AAA PB01_925_Pro	CARGUIO	3200.00/t/h	2.284	0.00	9/05/2023 1:16	12/05/2023 7:3	Auto Schedul	180,661				
209	AAA PB01_925_Pro	CARGUIO	3200.00/t/h	0.966	0.00	24/05/2023 2:3	25/05/2023 11	Auto Schedul	75,609				
210	AAA PB01_925_Pro	CARGUIO	3200.00/t/h	5.768	0.00	15/05/2023 8:0	24/05/2023 2:9	Auto Schedul	455,051				
211	AAA PB01_925_Pro	CARGUIO	3200.00/t/h	1.154	0.00	12/05/2023 7:3	24/05/2023 12	Auto Schedul	94,393				
212	AAA PB01_925_Pro	CARGUIO	3200.00/t/h	0.884	0.00	23/05/2023 7:0	24/05/2023 1:2	Auto Schedul	70,041				
213	AAA PB01_925_Pro	CARGUIO	3200.00/t/h	0.074	0.00	20/05/2023 5:5	20/05/2023 8:1	Auto Schedul	5,414				
214	AAA PB01_925_Pro	CARGUIO	3200.00/t/h	0.074	0.00	13/05/2023 10	14/05/2023 1:0	Auto Schedul	5,461				
215	AAA PB01_925_Pro	CARGUIO	3200.00/t/h	0.356	0.00	14/05/2023 1:0	14/05/2023 1:1	Auto Schedul	28,072				
216	AAA PB01_925_Pro	CARGUIO	3200.00/t/h	2.324	0.00	20/05/2023 5:0	20/05/2023 2:1	Auto Schedul	159,642				
217	AAA PB01_925_Pro	CARGUIO	3200.00/t/h	0.039	0.00	14/05/2023 9:3	14/05/2023 10	Auto Schedul	2,505				
218	AAA PB01_925_Pro	CARGUIO	3200.00/t/h	0.264	0.00	11/05/2023 8:3	11/05/2023 5:2	Auto Schedul	20,432				
219	AAA PB01_925_Pro	CARGUIO	3200.00/t/h	1.174	0.00	11/05/2023 5:2	13/05/2023 9:2	Auto Schedul	92,531				
220	AAA PB01_925_Pro	CARGUIO	3200.00/t/h	1.074	0.00	23/05/2023 2:1	25/05/2023 3:0	Auto Schedul	85,108				
221	AAA PB01_925_Pro	CARGUIO	3200.00/t/h	1.864	0.00	14/05/2023 11	17/05/2023 3:1	Auto Schedul	147,518				
222	AAA PB01_925_Pro	CARGUIO	3200.00/t/h	0.056	0.00	24/05/2023 1:2	24/05/2023 3:1	Auto Schedul	4,014				
223	AAA PB01_925_Pro	CARGUIO	3200.00/t/h	0.024	0.00	20/05/2023 5:1	20/05/2023 6:5	Auto Schedul	1,443				
224	AAA PB01_925_Pro	CARGUIO	3200.00/t/h	3.454	0.00	20/05/2023 10	25/05/2023 10	Auto Schedul	274,617				
225	AAA PB01_925_Pro	CARGUIO	3200.00/t/h	0.014	0.00	15/05/2023 7:4	15/05/2023 8:0	Auto Schedul	430				
226	AAA PB01_925_Pro	CARGUIO	3200.00/t/h	0.004	0.00	24/05/2023 2:3	24/05/2023 2:3	Auto Schedul	190				
227	AAA PB01_925_Pro	CARGUIO	3200.00/t/h	0.264	0.00	13/05/2023 12	13/05/2023 9:0	Auto Schedul	20,748				
228	AAA PB01_925_Pro	CARGUIO	3200.00/t/h	2.154	0.00	17/05/2023 3:1	20/05/2023 5:0	Auto Schedul	170,271				
229	AAA PB01_925_Pro	CARGUIO	3200.00/t/h	2.074	0.00	20/05/2023 5:1	20/05/2023 7:0	Auto Schedul	163,860				
230	AAA PB01_925_Pro	CARGUIO	3200.00/t/h	0.024	0.00	14/05/2023 10	14/05/2023 11	Auto Schedul	1,589				
231	AAA PB01_925_Pro	CARGUIO	3200.00/t/h	4.324	0.00	14/05/2023 12	20/05/2023 5:1	Auto Schedul	342,046				
232	AAA PB01_925_Pro	CARGUIO	3200.00/t/h	0.004	0.00	8/05/2023 7:59	8/05/2023 8:01	Auto Schedul	64				
233	AAA PB01_925_Trim	CARGUIO	3200.00/t/h	1.174	0.00	12/05/2023 3:3	13/05/2023 1:4	Auto Schedul	74,006				
234	AAA PB01_925_Trim	CARGUIO	3200.00/t/h	0.884	0.00	14/05/2023 13:4	15/05/2023 7:4	Auto Schedul	55,544				
235	AAA PB01_925_Trim	CARGUIO	3200.00/t/h	0.014	0.00	14/05/2023 12	14/05/2023 12	Auto Schedul	847				
236	AAA PB01_925_Trim	CARGUIO	3200.00/t/h	0.344	0.00	12/05/2023 12	13/05/2023 12	Auto Schedul	21,755				
237	AAA PB01_925_Trim	CARGUIO	3200.00/t/h	1.024	0.00	8/05/2023 6:01	10/05/2023 7:0	Auto Schedul	64,631				
238	AAA PB01_925_Trim	CARGUIO	3200.00/t/h	0.404	0.00	13/05/2023 9:0	13/05/2023 10	Auto Schedul	25,255				
239	AAA PB01_925_Trim	CARGUIO	3200.00/t/h	1.824	0.00	10/05/2023 7:0	12/05/2023 9:3	Auto Schedul	115,503				
240	AAA PB01_925_Trim	CARGUIO	3200.00/t/h	0.944	0.00	11/05/2023 3:5	12/05/2023 12	Auto Schedul	59,513				
241	AAA PB01_925_Trim	CARGUIO	3200.00/t/h	0.244	0.00	14/05/2023 1:1	14/05/2023 9:3	Auto Schedul	15,130				

Ilustración 11: Carta Gantt inicial.



5.2.7. DESWIK.SCHED

5.2.7.1. FECHA DE INICIO

En este caso, los sólidos utilizados dentro de este trabajo son los que se utilizarán el año 2023. Por lo tanto, la fecha de inicio de este proyecto es del 01 de enero del 2023 a las 12:00 am.

5.2.7.2. DEFINIR PRESEDENCIAS

- **Dependencias entre fases:** A continuación, en la **Ilustración 12** se presentará un diagrama que representa la secuencia de fases a extraer.

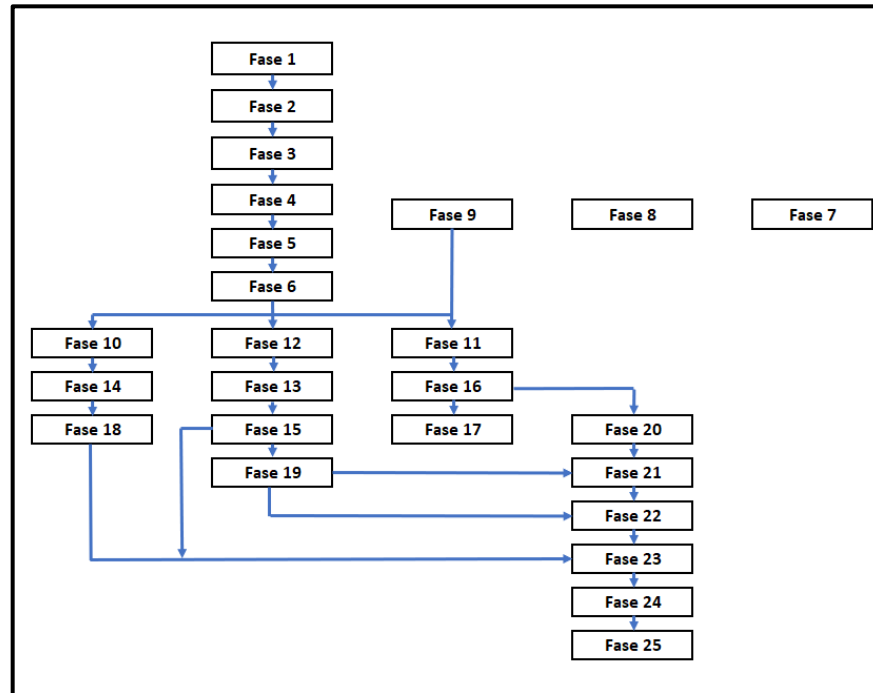


Ilustración 12: Secuencia de las fases.

La observación de la Ilustración 12 revela que, desde la fase 1 hasta la fase 6, se sigue una secuencia normal. Sin embargo, la fase 6 presenta una dependencia con un gran número de fases debido a su considerable tamaño. Además, es importante destacar que las fases 8 y 7 son independientes, es decir, no tienen precedencias, y tampoco generan dependencias, lo que sugiere que estas podrían ser minadas en cualquier momento si fuera necesario.

- **Dependencias dentro de la fase:** Como se definió en la metodología, se ingresaron los parámetros mencionados, los cuales son diferentes para cada una de las fases, ya que cada fase tiene diferentes formas y con ellos cada fase tiene sus consideraciones.

El resultado se aplicar ambas dependencias se observa en la **Ilustración 13**



Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil de Minas
“Estudio comparativo de software MineSight 15.7 y Deswik 2021.2 en planificación minera a largo plazo”

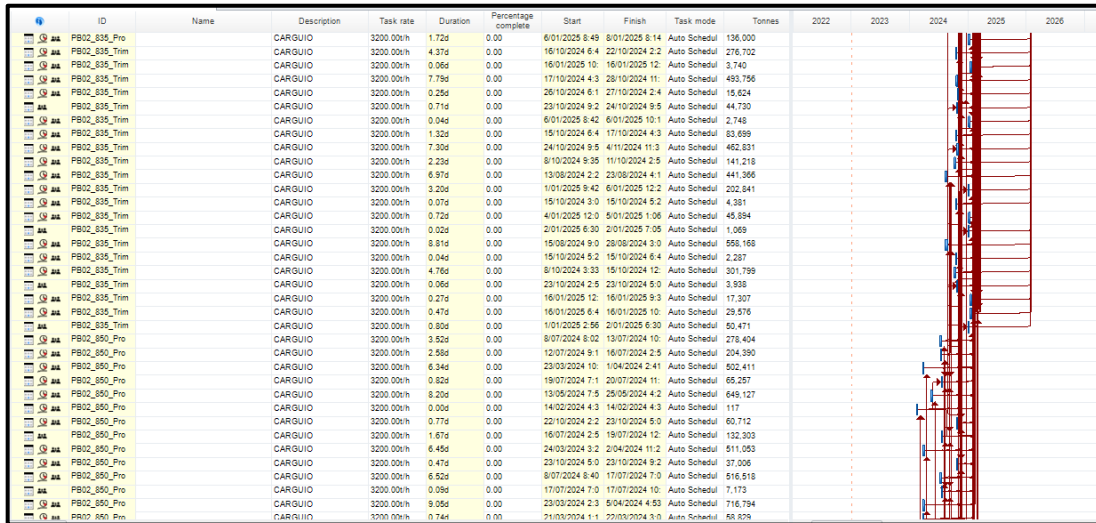


Ilustración 13: Carta Gantt con dependencias.

5.2.8. RECURSOS

Para este caso, se los recursos utilizados para la extracción de material son de dos tipos, palas y cargadores frontales. Las palas para utilizar en este caso son palas PC5500, PC5500 P101 y PC4000. Por otro lado, se utilizarán los cargadores frontales WC1200. Según los requerimientos de la minera, la tasa de producción dependerá del tipo de bloque, es decir, del atributo “Block_Type”. Se considera que la tasa de producción de un bloque “Borde” es el 80% de la tasa de producción de un bloque “Producción”. Teniendo esto en consideración, se procede a entregar las tazas de producción para cada uno de los recursos. La **Tabla 6** refleja lo mencionado

Tabla 6: Tasa de producción por equipo de extracción.

Recurso	Tasa de Producción ($\frac{t}{hr}$)	
	Producción	Borde
Pala – PC5500 P101	3.300	2.640
Pala – PC5500	2.600	2.080
Pala – PC4000	2.150	1.720
Cargador frontal – WC1200	1.600	1.280

Por otra parte, se define el calendario de cada recurso. La **Ilustración 14** representa la utilización de cada equipo por año.

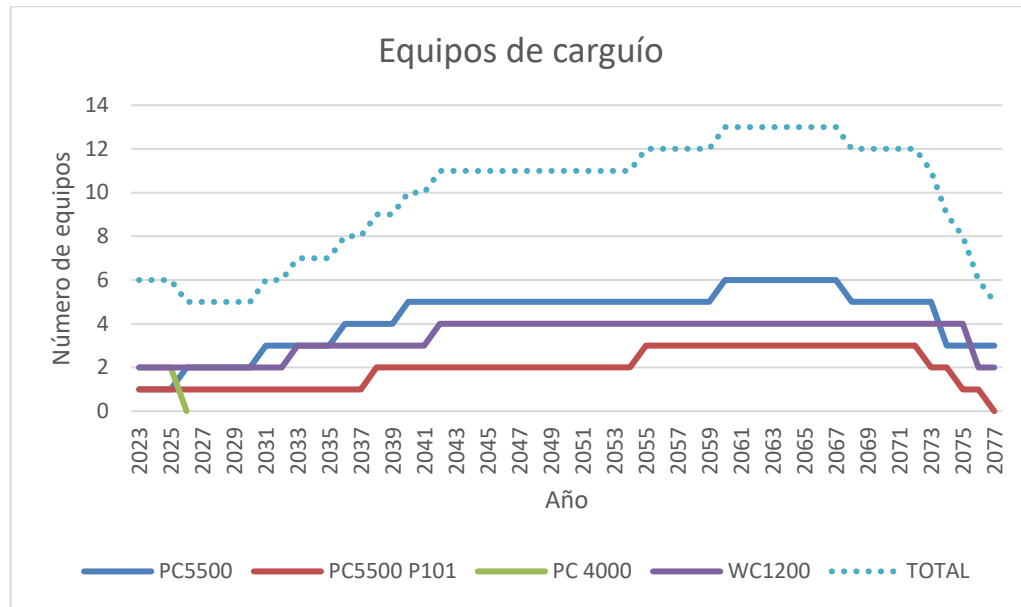


Ilustración 14: Utilización de equipos de extracción.

Como se puede observar en la **Ilustración 14**, la necesidad de palas aumenta con el tiempo. En un inicio, con seis recursos se logra cumplir con los movimientos mina requeridos, pero a medida que pasa el tiempo es necesario implementar más palas ya que los movimientos minas aumentan.

Por otra parte, se debe ingresar la utilización efectiva de cada recurso, el cual incluye la disponibilidad del equipo y la utilización de este. La utilización efectiva es un factor porcentual que se le aplica al tiempo del recurso. Esto entrega como resultado el porcentaje de tiempo en donde el equipo se encuentra en producción. Los valores de este factor van desde el 62 hasta el 70 %, dependiendo del período y del equipo. En **Anexos 8.2** se presenta la utilización efectiva detallada de cada equipo.

5.2.9. RESTRICCIONES

Como el objetivo principal de este trabajo es comparar el plan minero obtenido a partir de Deswik con un plan previamente realizado a partir de MineSight, las restricciones de fecha y cantidad serán configuradas en Deswik por lo obtenido mediante MineSight.

- **Restricciones por Fecha:** En la **Tabla 7**, se presentan las fases que además de tener las restricciones por dependencias, tienen restricciones por fecha de inicio

Tabla 7: Restricciones por fecha.

Fase	Restricción de fecha
PB01	01/01/2023
PB07	01/01/2030
PB08	01/01/2030
PB10	01/01/2041
PB11	01/01/2042
PB13	01/01/2041
PB14	01/01/2044
PB15	01/01/2045
PB17	01/01/2050



PB19	01/01/2056
PB20	01/01/2056
PB21	01/01/2056
PB22	01/01/2056
PB23	01/01/2059
PB25	01/01/2063

- **Restricciones por número de bancos minados al mismo tiempo:** Para este caso, se consideró que no pueden haber más de tres bancos minándose al mismo tiempo dentro de una misma fase.
- **Tonelaje para minar por cada periodo:** Para realizar un plan operativo se establecieron los valores estimados de los tonelajes a minar por cada periodo.

Es importante que al momento de simular el caso el software cumpla con estas restricciones establecidas ya que, en caso contrario, el plan dejaría de ser operacional para la empresa minera.

5.2.10. SIMULACIÓN

Una vez ya configurado todo lo anteriormente mencionado, se procede a simular el caso de la extracción de material de la mina de hierro. En la **Anexos 8.3** se puede observar una Carta Gantt la cual representa el orden de extracción de los bloques, los cuales, en este caso, se encuentran agrupados por la fase a la cual pertenecen. Del diagrama se puede rescatar que la vida útil de la mina es hasta el año 2077, año en el cual se termina de minar la fase 25.

Los resultados obtenidos de este proceso se presentan en la **Ilustración 15**:

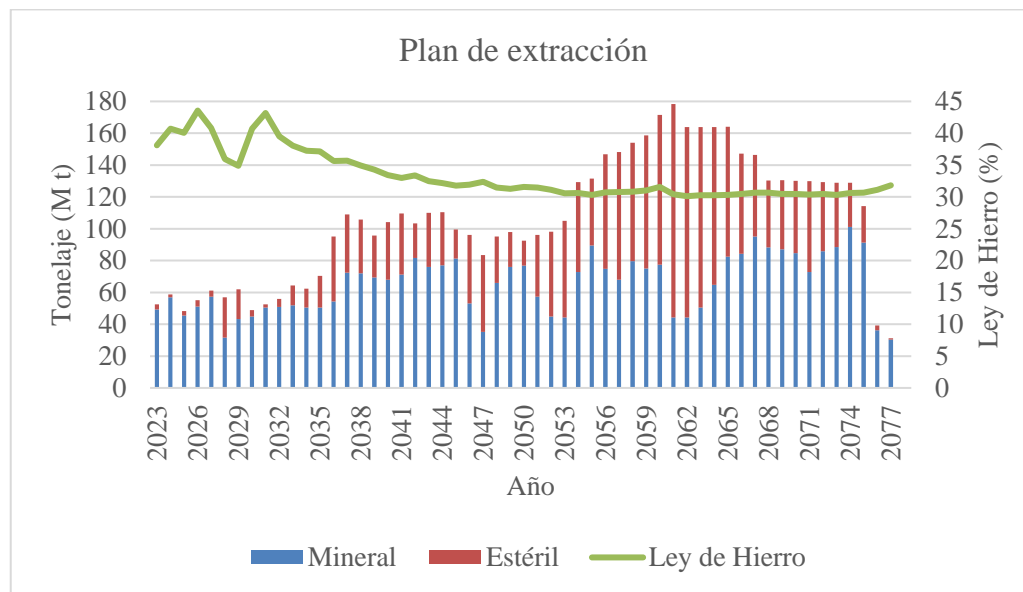


Ilustración 15: Material extraído por tipo de material mediante Deswik.

De la **Ilustración 15** se puede observar que el movimiento mina tiende a aumentar hasta el año 2046, donde se puede observar una caída en la cantidad de material minado. Esto se debe al cierre de las fases 10, 11, 12 y 13, quedando en funcionamiento tan solo la fase 14. Luego, en el año 2052, los movimientos mina



comienzan a aumentar debido la extracción de nuevas fases. Este aumento dura hasta el año 2061, año desde el cual comienza un decaimiento hasta el año en el que culmina la extracción, 2077.

Además de esto, se puede observar que, en los primeros años, la extracción es principalmente de mineral debió a que estos bloques ya se encuentran expuestos para la extracción. A partir del año 2036 es necesaria la remoción de material estéril para habilitar la extracción del mineral de interés, por lo que aumenta la cantidad de masa de estéril extraída.

Por otra parte, el grafico representa las leyes de hierro del mineral. De este resultado se rescata que los primeros años se extraen los minerales con mejores leyes de hierro, esto debido a que en la planificación minera se intenta optimizar la secuencia de extracción de tal manera de obtener las leyes más altas en los periodos iniciales de la operación. Esto se realiza para beneficiar la rentabilidad del proyecto, la eficiencia de procesamiento, para mitigar los riesgos y para tener mejor base de financiamiento del proyecto.

5.3. PLAN DE PRODUCCIÓN CON DESWIK

Ya con el plan de extracción listo, se procede a realizar las configuraciones para obtener el plan de producción de la mina de hierro.

5.3.1. MATERIALES

Los campos de materiales generados anteriormente en Deswik.IS, estarán disponibles en el Deswik.SHED. Estos campos de materiales permitirán generar materiales en base a ciertos filtros escogidos. En la **Tabla 8** se presentarán los materiales generados en base a los requerimientos de la empresa:

Tabla 8: Tipos de materiales creados.

Descripción del material	Restricciones	Abreviatura
Material de interés de alta ley que no es de litología 5	$FE \geq 41$ \cap $LITOLOGIA \neq 5$ \cap $LITOLOGIA \neq WASTE$ \cap $CATEGORIA \neq 5$	HG & ALL - IT
Material de interés de alta ley que es de litología 5	$FE \geq 41$ \cap $LITOLOGIA = 5$ \cap $LITOLOGIA \neq WASTE$ \cap $CATEGORIA \neq 5$	HG & IT
Material de interés que no es de litología 5	$FE < 41$ \cap $FE \geq 25$ \cap $LITOLOGIA \neq 5$ \cap $LITOLOGIA \neq WAST$ \cap	IF & ALL - IT



	$CATEGORIA \neq 5$ \cap	
Material de interés que es de litología 5	$FE < 41$ \cap $FE \geq 25$ \cap $LITOLOGIA = 5$ \cap $LITOLOGIA \neq WAST$ \cap $CATEGORIA \neq 5$	IF & IT
Material estéril	$FE < 25$ \cup $CATEGORIA = 5$ \cup $LITOLOGIA = WAST$	WASTE

Como se puede observar se generaron cinco tipos de materiales, los cuales están clasificados según la ley de hierro que contienen, litología de donde provienen y categoría.

Ya con esto, es posible configurar el módulo Deswik.BLEND para definir los destinos de cada bloque y con esto obtener el plan de producción.

5.3.2. DESWIK.BLEND

Mediante Deswik.BLEND se creará el plan minero de producción. Esta herramienta permite generar las mezclas de minerales necesarias para cumplir con las restricciones de material que se establezcan.

5.3.2.1. MODELO DE FLUJO

El modelo de flujos utilizado para el proyecto se representa en la **Ilustración 16**

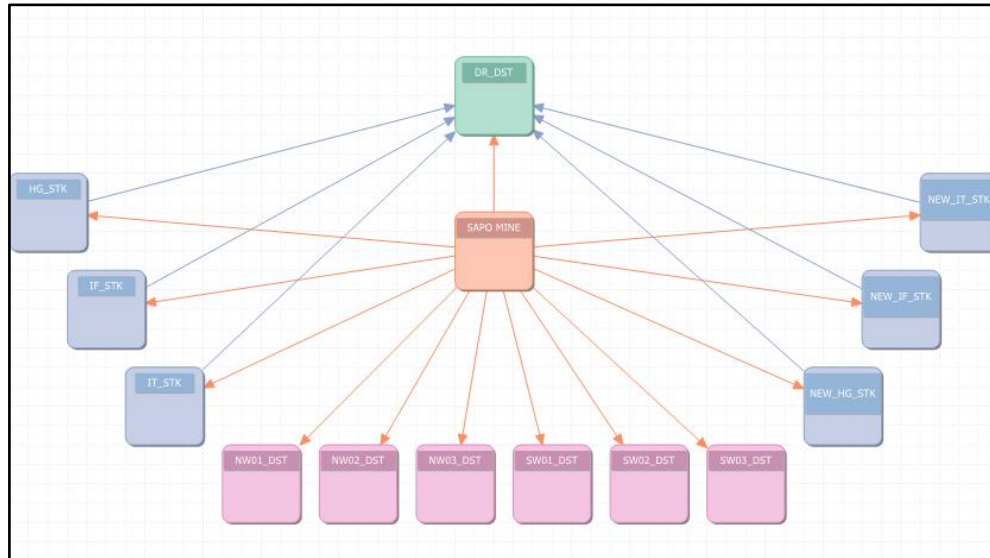


Ilustración 16: Modelo de flujo de Deswik.

Del modelo se puede observar la presencia de una Mina, del cual es donde se extraerá el material. Por otro lado, se observa la planta de producción, seis botaderos y seis pilas de almacenamiento, los cuales almacenarán diferentes materiales. Para un mayor entendimiento la **Tabla 9** presenta una descripción cada destino:

Tabla 9: Descripción de los orígenes/destinos presentes en el proyecto.

Sigla	Origen/Destino	Descripción
MINE	Origen “Mina”	Corresponde al lugar de origen de los bloques de minerales
DR_DST	Destino “Planta”	Corresponde a la plata de flotación de hierro procesado con metodología reducción directa
IT_STK	Destino “Almacenamiento” Origen “Almacenamiento”	Corresponde a una pila de almacenamiento de mineral solo de litología 5
HG_STK	Destino “Almacenamiento” Origen “Almacenamiento”	Corresponde a una pila de almacenamiento de mineral de alta ley de hierro
IF_STK	Destino “Almacenamiento” Origen “Almacenamiento”	Corresponde a una pila de almacenamiento de mineral
NEW_IT_STK	Destino “Almacenamiento” Origen “Almacenamiento”	Corresponde a una pila de almacenamiento de mineral de litología 5 pero que comienza a funcionar a partir del año 2036
NEW_HG_STK	Destino “Almacenamiento” Origen “Almacenamiento”	Corresponde a una pila de almacenamiento de mineral de alta ley de hierro pero que comienza a funcionar a partir del año 2036



NEW_IF_STK	Destino “Almacenamiento” Origen “Almacenamiento”	Corresponde a una pila de almacenamiento de pero que comienza a funcionar a partir del año 2036 comienza a funcionar a partir del año 2036
NW01_DST	Destino “Botadero”	Corresponde a botadero ubicado en la zona norte de la mina
NW02_DST	Destino “Botadero”	Corresponde a botadero ubicado en la zona norte de la mina
NW03_DST	Destino “Botadero”	Corresponde a botadero ubicado en la zona norte de la mina
SW01_DST	Destino “Botadero”	Corresponde a botadero ubicado en la zona sur de la mina
SW02_DST	Destino “Botadero”	Corresponde a botadero ubicado en la zona sur de la mina
SW03_DST	Destino “Botadero”	Corresponde a botadero ubicado en la zona sur de la mina

5.3.2.2. PERIODOS

Para el presente trabajo se solicitó utilizar los periodos de mezclas presentados en la **Tabla 10**.

Tabla 10: Periodos de mezcla.

Año	Periodo
2023	Mensual
2024	Mensual
2025	Trimestral
2026	Semestral
2027	Semestral
2028 en adelante	Anual

De esta forma, se generarían un total de 81 periodos de mezcla de mineral, terminando en al año 2077.

5.3.2.3. SELECCIÓN DE MATERIALES

En este apartado se deben seleccionar los materiales que se utilizaran para las mezclas. En este caso, se deben seleccionar todos los materiales generados en el punto 5.1.

5.3.2.4. ACEPTACIÓN DE MATERIALES

Se seleccionarán que materiales de la **Tabla 8** pueden ir a los diferentes destinos de la **Tabla 9**. A continuación, se presenta la **Tabla 11**, la cual presenta la información descrita:



Tabla 11: Aceptación de materiales de cada destino.

	HG & ALL - IT	HG & IT	IF & ALL - IT	IF & IT	WASTE
Botaderos					
NW01_DST					
NW02_DST					
NW03_DST					
SW01_DST					
SW02_DST					
SW03_DST					
Planta					
DR_DST					
Stock					
IT_STK					
HG_STK					
IF_STK					
NEW_IT_STK					
NEW_HG_STK					
NEW_IF_STK					

Como se puede observar, los botaderos solo aceptan material estéril. Por otro lado, la planta puede recibir todo lo que contenga mineral de interés. Finalmente, dependiendo de la pila de almacenamiento y del tipo de material, esta puede recibir uno u otro material.

5.3.2.5. ALMACENAMIENTO INICIAL

Se puso a disposición un archivo con diferente información sobre el stock inicial de la mina. A partir de estos se calcularon la masa total, densidad, volumen y las diferentes leyes. Las variables más relevantes se encuentran en las **Tablas 12 y 13**:

Tabla 12: Almacenamiento inicial de material de alta ley.

HG_STK	
Parámetro	Valor
Masa (t)	5,188,067
Volumen (m ³)	2,149,496.14
Densidad (t/m ³)	2.41
Ley de Fe (%)	53.31
Ley de Al (%)	2.64
Ley de P (%)	0.07

Tabla 13: Almacenamiento inicial de material de litología 5.

IT_STK	
Parámetro	Valor
Masa (t)	4,128,850
Volumen (m ³)	1,376,283



Densidad (t/m ³)	3.00
Ley de Fe (%)	52.13
Ley de Al (%)	0.55
Ley de P (%)	0.03

5.3.2.6. RESTRICCIONES DE FLUJO

Según los requerimientos de la minera, es necesario realizar restricciones de flujo para diferentes parámetros. Primero que todo, es necesario realizar una restricción a la cantidad de concentrado de hierro que generan las plantas, esto con el fin de garantizar un tonelaje de concentrado constante para cada periodo. Es importante lograr cumplir con los 28 millones de toneladas de concentrado de hierro en el largo plazo, es por esto por lo que esta será la condición principal. La segunda restricción recae en las leyes de hierro que ingresan a la planta de concentrado. Como se mencionó anteriormente, es importante procesar las mejores leyes lo antes posible. Teniendo en cuenta lo anterior, la segunda restricción a considerar será que en los primeros años de procesamiento las leyes de mineral deben estar por sobre el 40%. Finalmente, es necesario restringir las leyes de contaminantes, Aluminio y Fosforo que ingresan a la planta. Estas últimas restricciones se deben a que estos factores dificultan el proceso de concentración del hierro e impactan en la calidad del producto generado. Las restricciones para los contaminantes no serán constantes, dependerán del periodo en el que se encuentre. En las **Tablas 14 y 15**, se presentan las restricciones asociadas a los contaminantes:

Tabla 14: Restricciones de leyes de aluminio a planta.

Fecha Inicio	Fecha Final	Aluminio (%)
1/01/2023	1/01/2028	1.10
1/01/2028	1/01/2077	1.34

Tabla 15: Restricción de leyes de fosforo a planta.

Fecha Inicio	Fecha Final	Fosforo (%)
1/01/2023	1/01/2060	0.04
1/01/2060	1/01/2077	Libre

Estas restricciones serán de carácter blando, o sea que, si el software no puede resolver los tonelajes o las leyes requeridas, entregará el valor más cercano a lo solicitado.

5.3.2.7. OBJETIVOS ECONOMICOS

En cuanto a los objetivos económicos, se ingresó la ganancia obtenida por kilo de concentrado junto con los costos que lleva la extracción del mineral, el trasportes y producción. Estos valores no se indicarán por confidencialidad.

5.3.2.8. SIMULAR EL CASO

Una vez ingresados todos los parámetros, restricciones y los objetivos económicos se proceden a simular el caso, donde el software realizará las mezclas por periodo para cumplir con las restricciones anteriormente



mencionadas. Es importante mencionar que el para simular el caso se utilizó la función “Múltiples periodos” la cual no modifica el plan de extracción confeccionado anteriormente. Una vez simulado el caso, el software entrega como resultado los movimientos mina, es decir los tonelajes que se enviarán a planta, a botaderos y pilas de almacenamiento. Los resultados se observan en la **Ilustración 17**:

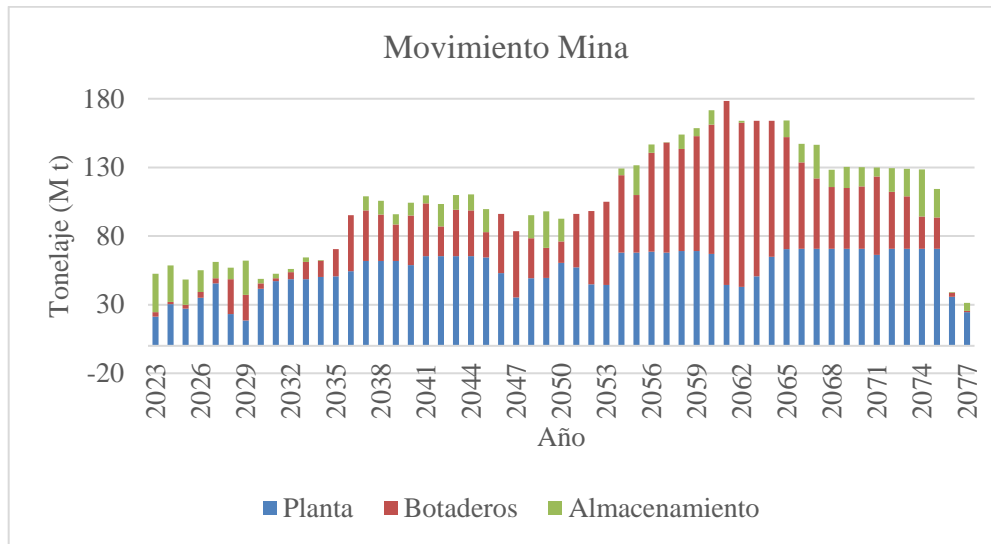


Ilustración 17: Movimiento mina por destinos mediante Deswik.

Además de esto, mediante un manejo de los datos es posible graficar las toneladas que ingresarán a la planta desde la mina y desde las pilas de almacenamiento. Junto con ello, es posible graficar las leyes de hierro del material enviado a planta. Esta información se presenta en la **Ilustración 18**.

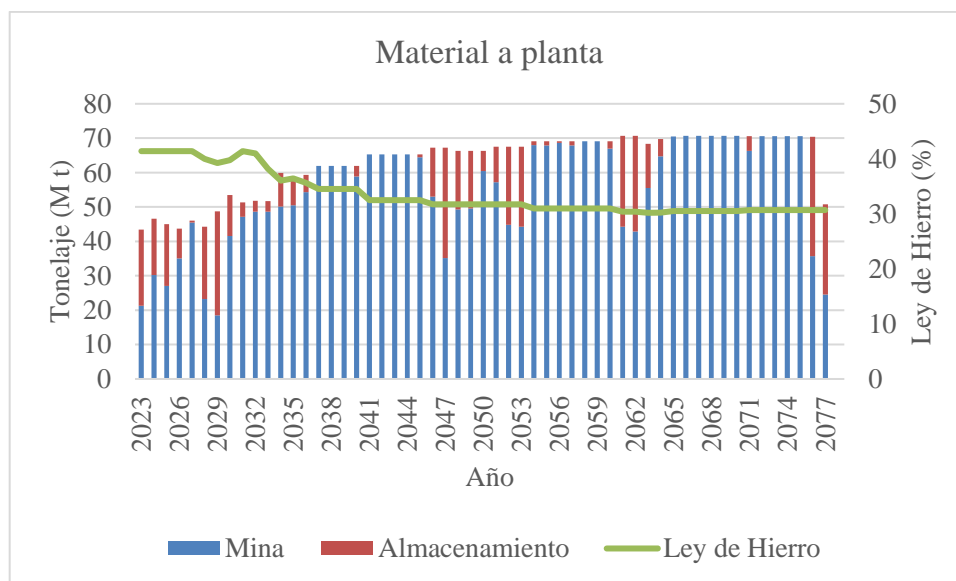


Ilustración 18: Alimentación de la planta mediante Deswik.



Como se puede observar, en los primeros años de la mina se tienen leyes por sobre el 40% de hierro. Al tener buenas leyes en el material que es enviado a planta, se necesitará una menor cantidad de toneladas de material para cumplir con el objetivo de las toneladas de concentrado de hierro a producir. Del mismo modo se puede notar que a medida que pasan los años las leyes de hierro disminuyen, por lo que se requiere aumentar la masa de material enviadas a planta.

Además de analizar la tonelada de material enviadas a planta, observaremos las leyes de contaminantes presentes en el material enviado a planta mediante las **Ilustraciones 19 y 20**.

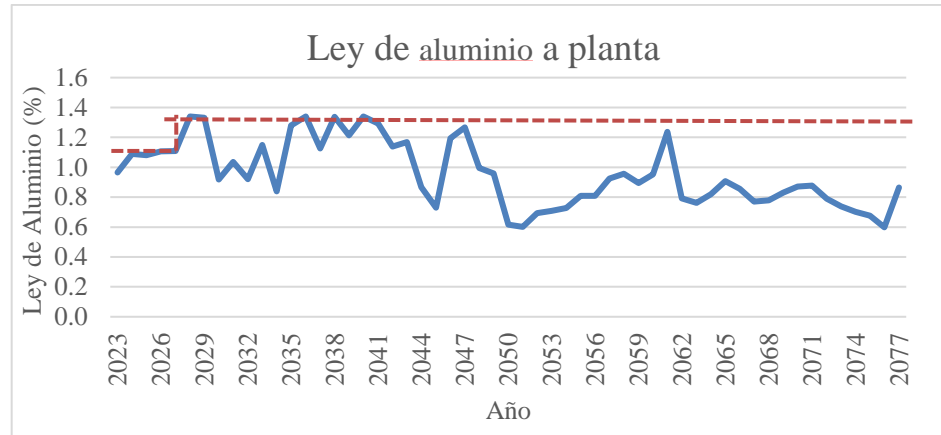


Ilustración 19: Leyes de aluminio enviadas a planta mediante Deswik



Ilustración 20: Leyes de fosforo enviadas a planta mediante Deswik

Como se puede observar en las **Ilustraciones 19 y 20** se logra cumplir con las restricciones de leyes máximas de contaminantes permitidos en planta de producción. Por lo que, de acuerdo a este parámetro, la calidad de concentrado producido no se vería afectada por las concentraciones de contaminantes.



Siguiendo con los resultados, es posible obtener la masa de concentrado generado a lo largo de la vida útil de la mina para el plan minero generado. La información está representada en la **Ilustración 21**.

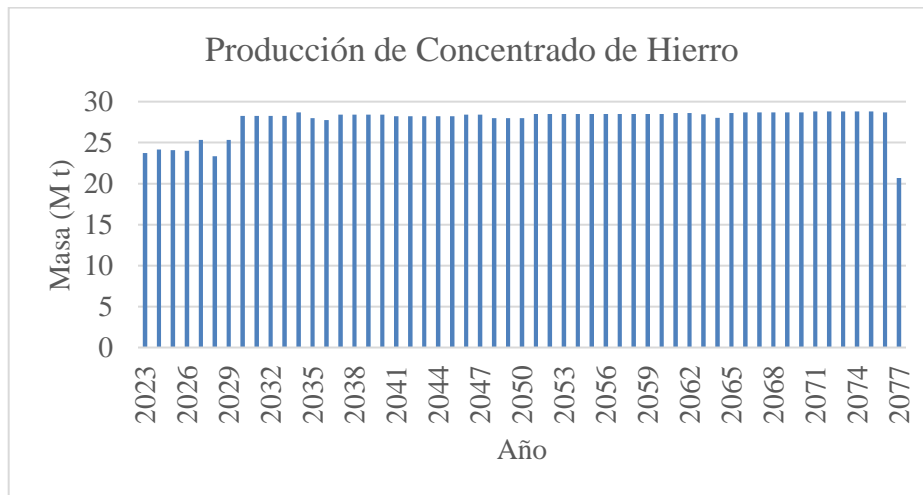


Ilustración 21: Producción de concentrado mediante Deswik.

Se puede rescatar del gráfico que, en los primeros años, la producción de concentrado de hierro va en ascenso hasta el año 2028, año en el cual decaen las leyes de hierro y se mantienen los tonelajes de material dirigida a la planta de producción. Luego, se puede observar que, a partir del año 2030, año en el cual comienzan a extraerse nuevas fases, se logra cumplir con los 28 millones de toneladas de concentrado de hierro al año.

5.4. ANÁLISIS DE LAS HERRAMIENTAS DE MINESIGHT

Herramientas de Corte

En MineSight 3D existen diferentes herramientas para generar cortes en los sólidos. Con esta herramienta, los usuarios pueden generar cortes y secciones transversales en los modelos de sólidos mineros para examinar y analizar diferentes características geológicas, mineralizaciones o zonas de interés.

Además, también consta con una herramienta para generar cortes en base a una grilla. Esta herramienta es “Cortes en Rejilla” que permite generar cortes en sólidos mineros utilizando una grilla o una malla. Estos cortes son menos detallados, pero más rápidos de generar.

Herramientas de Cubicación

Con MineSight Reserve es posible generar cubitaciones del modelo de bloques. Esta herramienta está diseñada específicamente para la estimación de recursos y reservas minerales, y permite a los usuarios calcular volúmenes y tonelajes de materiales en diferentes áreas y bloques dentro de una mina. MineSight Reserve utiliza técnicas de modelado y estimación de recursos para realizar cálculos de volúmenes de mineral, materiales estériles y otros recursos mineros. Permite realizar estimaciones basadas en diferentes métodos, como el método de bloques, el método de polígonos, interpolaciones y otros algoritmos avanzados.

Herramientas de Modificación del Modelo de Bloques

Model Manager es una herramienta que se utiliza para administrar y organizar los modelos geológicos y modelos de bloques dentro del entorno MineSight. Esta herramienta proporciona una interfaz centralizada para gestionar todos los modelos utilizados en el proyecto minero y permite una administración más



eficiente de los datos geológicos y de recursos. Mediante esta herramienta se puede visualizar diferentes variables del modelo de bloques y editar los modelos para agregar, modificar o eliminar variables.

Herramientas del Plan de Producción

- Modelo de flujo: Se debe generar un esquema donde se señalen los diferentes orígenes y destinos del caso. Los orígenes serán la Mina y las pilas de almacenamiento. Luego, los destinos serán las pilas de almacenamiento y las plantas de producción.
- Definir periodos: Se definen los periodos de mezcla. En este caso, se encontraron los periodos presentados en la **Tabla 16**.

Tabla 16: Periodos de mezcla mediante MineSight.

Desde	Hasta	Periodo
2023	2035	Anual
2035	2075	Quinquenal
2075	2077	Bienal

- Definir restricciones de flujo: Se definieron las restricciones de flujo para el tonelaje, para las leyes de hierro, leyes de contaminantes enviados a planta. Además de esto, la herramienta permite restringir volúmenes, cantidad de equipos funcionando, el avance vertical de minado, cantidad de fases funcionando al mismo tiempo y cantidad de bancos funcionando al mismo tiempo, etc.
- Objetivo: Se definió que es lo que se quiere optimizar. Esta herramienta es bastante útil debido a que se puede tener diferentes objetivos en cada periodo. Para este caso se maximizó el VAN durante todos los periodos.
- Variables económicas: En este apartado se definen todas las variables económicas para el caso. Se define la tasa de descuento (8.5%), los costos mina, costos de procesamiento, los costos operacionales y el precio del producto generado.
- Secuenciación: Se definen las precedencias de las fases.
- Equipos de carguío: Se definen los equipos de carguío a utilizar, junto con sus tasas de producción y número de unidades.
- Simular el caso.

Las herramientas descritas son las herramientas básicas para la obtención del plan de producción mediante MineSight. Cabe destacar que existe una mayor cantidad de herramientas más específicas que permiten realizar un plan más detallado.

5.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MINESIGHT

Se procede a leer los resultados obtenidos a partir del software MineSight. Para poder realizar la comparación se debe realizar los mismos gráficos que para el caso con Deswik. Primero que todo, se observan los tonelajes extraídos en la **Ilustración 22**.

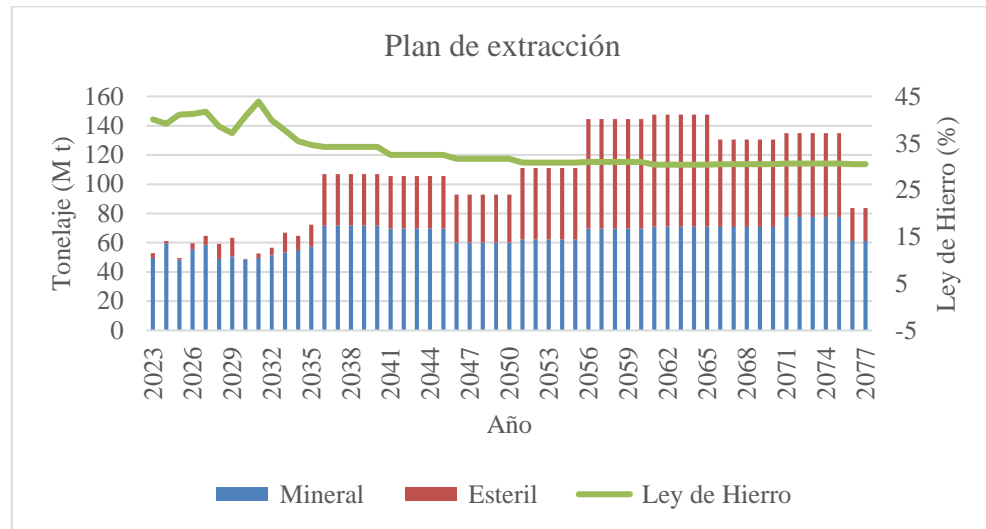


Ilustración 22: Material extraído mediante MineSight.

Como se puede observar de la **Ilustración 22**, a lo largo del tiempo se puede notar un ascenso del material minado. Hay ciertos periodos en los que la cantidad de material extraído disminuye (Por ejemplo, en el año 2029 o en el año 2046) y esto ocurre debido al cierre de ciertas fases provoca una disminución en la cantidad de material extraído hasta que se abra una nueva fase. Luego, se procede a analizar las toneladas minadas por tipo de material, es decir, estéril y mineral, junto con la ley de hierro presenten en el mineral. Además de esto, en los primeros años el material de interés ya se encuentra expuesto a la superficie, por lo que la extracción de estéril es mínima. Luego, a partir del año 2036, el material valioso se encuentra cada vez menos expuesto, por lo que es necesario remover una mayor cantidad de masa de estéril para obtener el material valioso, por lo que se nota un aumento en la cantidad de extracción de estéril. En cuanto a las leyes, se puede observar que los minerales que son extraídos en los primeros años poseen una ley de hierro bastante más alta que en los últimos años, en donde la ley llega a ser cercana al 30%.

Luego de esto, analizaremos el plan de producción generado por MinePlan. Es importante saber las toneladas que se dirigirán a los diferentes destinos. Esta se representa en la **Ilustración 23**

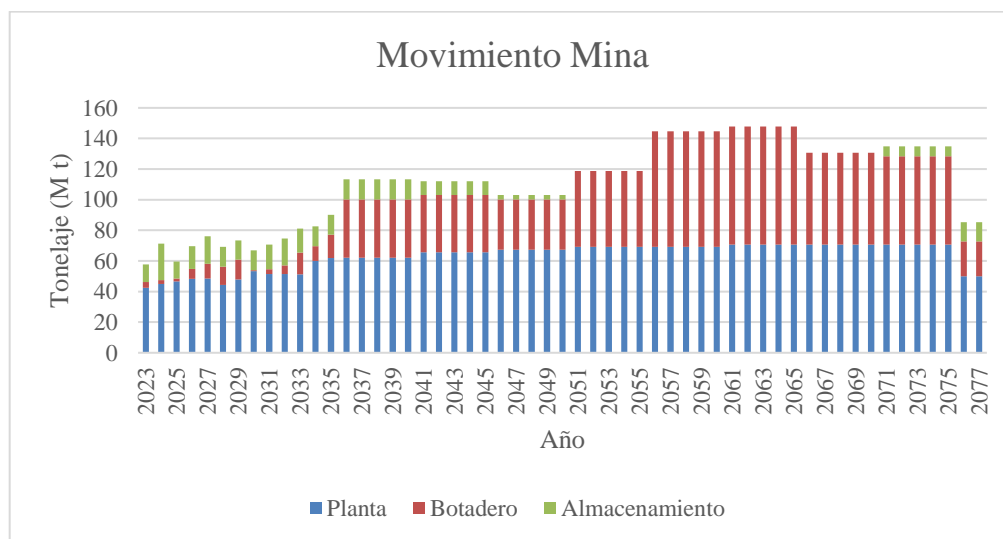


Ilustración 23: Movimiento mina mediante MineSight.



En la **Ilustración 23**, se deben observar la cantidad de toneladas que deben ser enviadas a planta para cumplir con la producción objetivo.

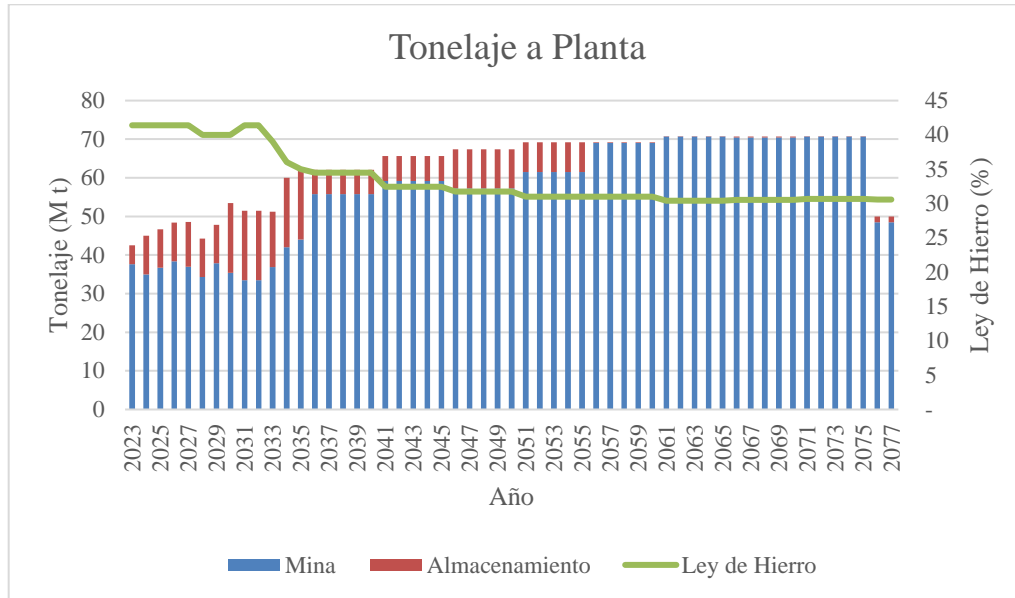


Ilustración 24: Material enviado a planta mediante MineSight.

Los resultados obtenidos muestran que a medida que las leyes de hierro disminuyen, se requiere una mayor cantidad de tonelaje enviado a planta. Esto es lógico debido a que, si se tienen menores leyes de mineral, la recuperación será menor según la fórmula de recuperación (2). Con una recuperación menor, según la fórmula de masa recuperada (3), la cantidad de tonelaje de concentrado de hierro obtenido será menor.

Además de analizar la masa enviada a planta, se procede a observar las leyes de los contaminantes presentes en el material enviado a planta mediante los gráficos presentados en las **Ilustraciones 25 y 26**.

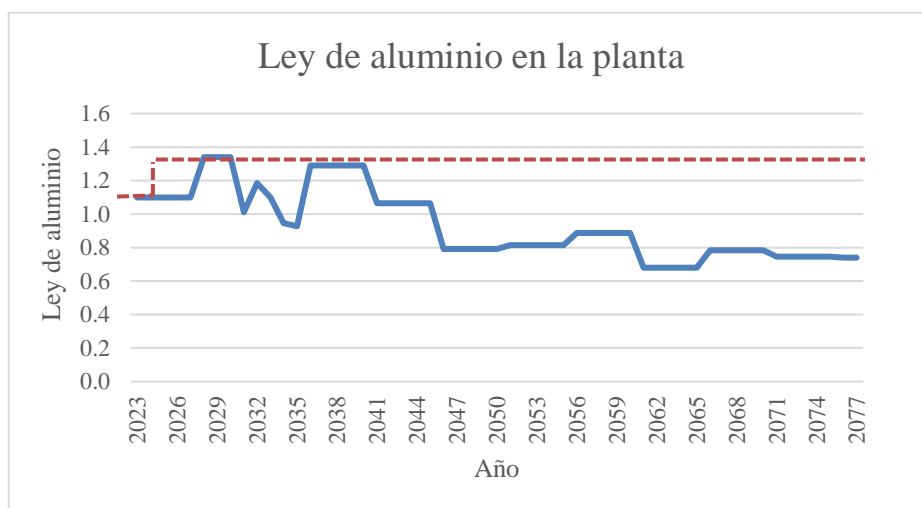


Ilustración 25: Ley de aluminio en planta mediante MineSight.

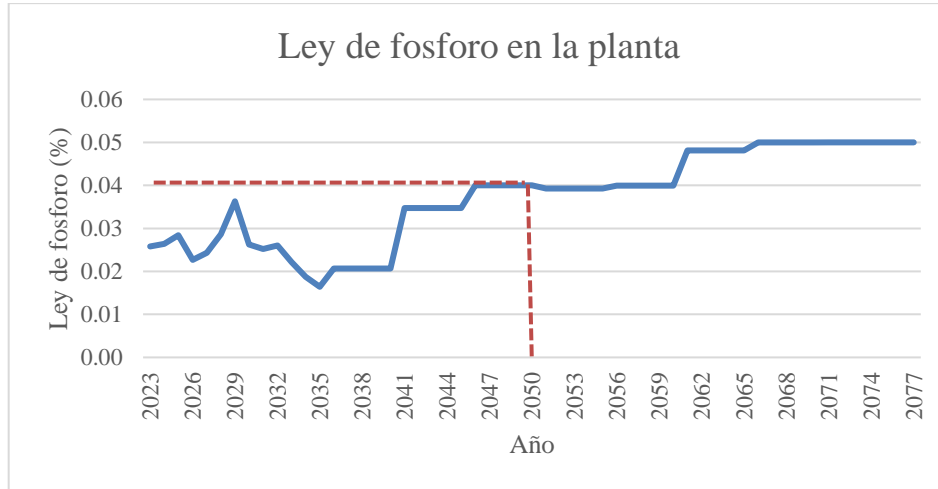


Ilustración 26: Ley de fosforo en planta mediante MineSight.

Mediante el plan generado con MineSight se puede observar en las **Ilustraciones 25 y 26** que se logra cumplir con las restricciones de las leyes de contaminantes presentes en el material enviado a planta.

Finalmente se procede a analizar la cantidad de concentrado de hierro generado por la planta de producción. Esta información la entrega la **Ilustración 27**.

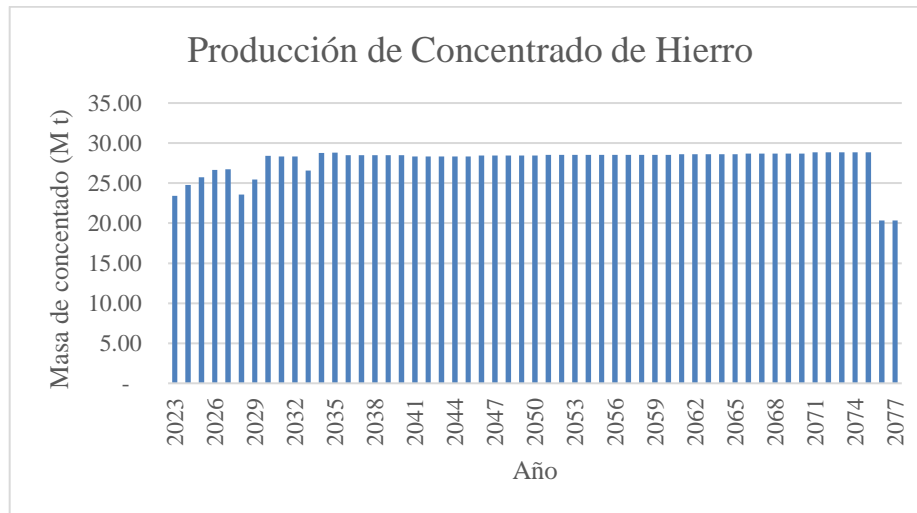


Ilustración 27: Producción de concentrado de hierro mediante MineSight.

Como se logra observar en la **Ilustración 27**, en los primeros años se genera aproximadamente 25 millones de toneladas de concentrado de hierro al año. En el largo plazo, mediante este plan se lograrían generar los 28 millones de toneladas de concentrado de hierro que se tienen como objetivo.

5.6. COMPARACIÓN DE PLANES

Primero que todo, es importante destacar que, mediante ambos softwares, usando las correctas configuraciones se logra cumplir con el objetivo de producción de 28 millones de toneladas de concentrado de hierro. De hecho, mediante ambos softwares se logra superar esta producción en reiterados periodos.



Si se analiza en detalle los gráficos de ambos softwares se pueden encontrar pequeñas diferencias entre los resultados obtenidos. Primero que todo, es importante recordar que los resultados con MineSight están expresados en periodos de cinco años a partir del año 2036, por lo que para obtener el resultado por año se dividió el valor entregado en cinco. Es por esta razón que se ven resultados constantes en periodos de cinco años.

Plan de extracción: En cuanto a los planes de extracción, primero generaremos un agrupamiento de cinco años en el plan de Deswik para poder realizar la comparación de planes de manera más sencilla. Esta información se ve representada en la **Ilustración 28**.

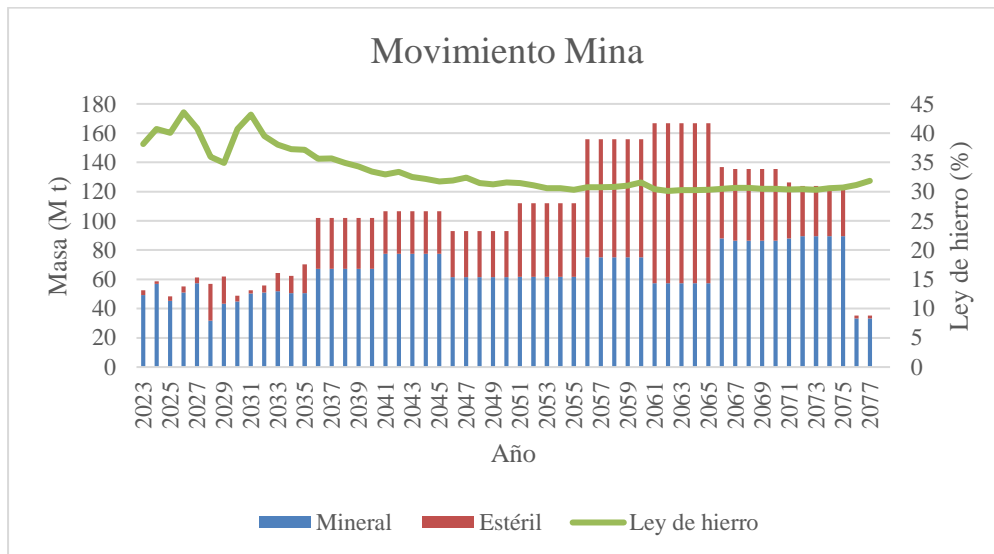


Ilustración 28: Plan de extracción con movimientos uniformes en periodos de cinco años mediante Deswik.

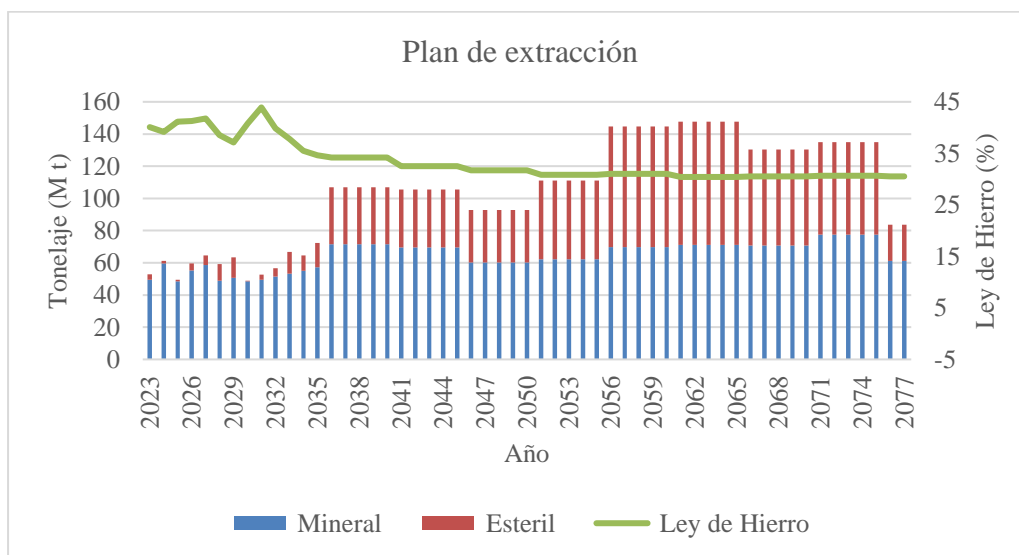


Ilustración 29: Plan de extracción mediante MineSight

Una vez ya generado este plan agrupado por cinco años se procede a realizar la comparación de resultados. De las **Ilustraciones 28 y 29**, correspondientes al plan de Deswik y MineSight respectivamente, se logran observar que no existen mayores diferencias hasta el año 2056, donde mediante el plan de Deswik se extrae



una mayor cantidad de material en comparación al plan de MineSight. Luego de este periodo, con el software Deswik comienza a disminuir el tonelaje extraído hasta el año en que termina la extracción de mineral. Mediante el plan de MineSight se logra observar que en el año 2071 existe un aumento de tonelaje extraído con respecto a los periodos anteriores. Esto último podría ser perjudicial para la mina debido a que se encuentra en los últimos años de extracción.

Plan de producción: Para comparar el plan de producción analizaremos la masa enviada a planta junto con las leyes de hierro. Como se puede observar de las **Ilustraciones 18 y 24**, que son los gráficos correspondientes a Deswik y MineSight respectivamente, se obtienen resultados muy parecidos en ambos casos. Ambos planes parten con leyes cercanas al 41% y con un tonelaje cercanos a los 45 millones de toneladas en los primeros años, para luego, a partir del año 2034, aumentar la masa enviada a planta debido a la disminución de las leyes de hierro. A lo largo de los años podemos observar que ambos planes se comportan igual, llegando hasta cerca de los 71 millones de toneladas enviadas a planta en ambos casos.

Observando los gráficos de producción de concentrado de hierro, se concluye que ambos planes son capaces de cumplir con el requerimiento de producción de 28 millones de toneladas de concentrado de hierro por año, cumpliendo con las restricciones de contaminantes enviadas a planta. Por lo que se podría decir que ambos planes cumplen con la meta de producción respetando las leyes de contaminantes, por lo que ambos planes podrían ser aplicados por la empresa.

Finalmente, se puede decir que la decisión de elegir un plan u otro recaería en la elección del plan de extracción del min. Esto debido a que mediante Deswik se obtuvo que entre los años 2056 y 2065 se debería extraer una mayor cantidad de mineral, lo que genera que en el futuro se extraiga menos material y que a partir de ese año, empiece a decaer la cantidad de material removido, lo que es beneficioso para la adquisición y remplazos de los equipos mineros.

5.7. FACILIDAD DE USO

Una vez obtenido los planes de extracción y producción de los softwares, se realizará una comparación en cuanto a la facilidad de uso de ambos softwares. Esta comparación se realizará desde el punto de vista de una persona que no conocía ninguno de los dos softwares. En este apartado se evaluará tanto la **interfaz 3D** como el proceso para la **obtención de los planes**.

Interfaz 3D

Deswik.CAD:

Como lo muestra la **Ilustración 30**, en su parte superior el software una barra de herramienta personalizable. En su parte izquierda, posee un “Layer Control” la cual permitirá activar y desactivar la diferente información presente en cada una de estas capas. En el centro de la pantalla se encuentra la interfaz 3D donde se mostrará la información de cada una de las capas encendidas. En la parte derecha, se presentará la información de la entidad seleccionada en caso de seleccionarla, esta información suele ser bastante útil ya se presentan las principales características de la entidad seleccionada.



Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil de Minas “Estudio comparativo de software MineSight 15.7 y Deswik 2021.2 en planificación minera a largo plazo”

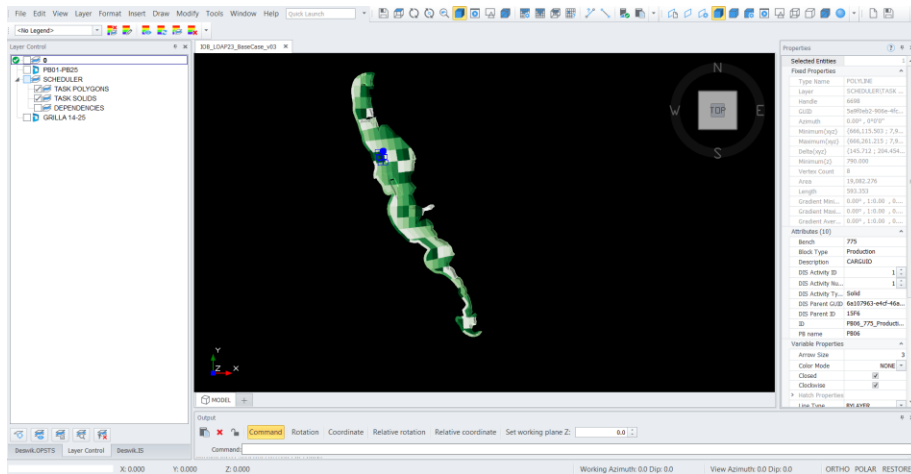


Ilustración 30: Interfaz 3D de Deswik.

MineSight:

Por otra parte, el Software MineSight, **Ilustración 31**, en su parte superior presenta una barra de herramientas personalizable. En su lado izquierdo se presenta el “Data Manager” que es una herramienta que permite gestionar y administrar los datos utilizados en la planificación minera.

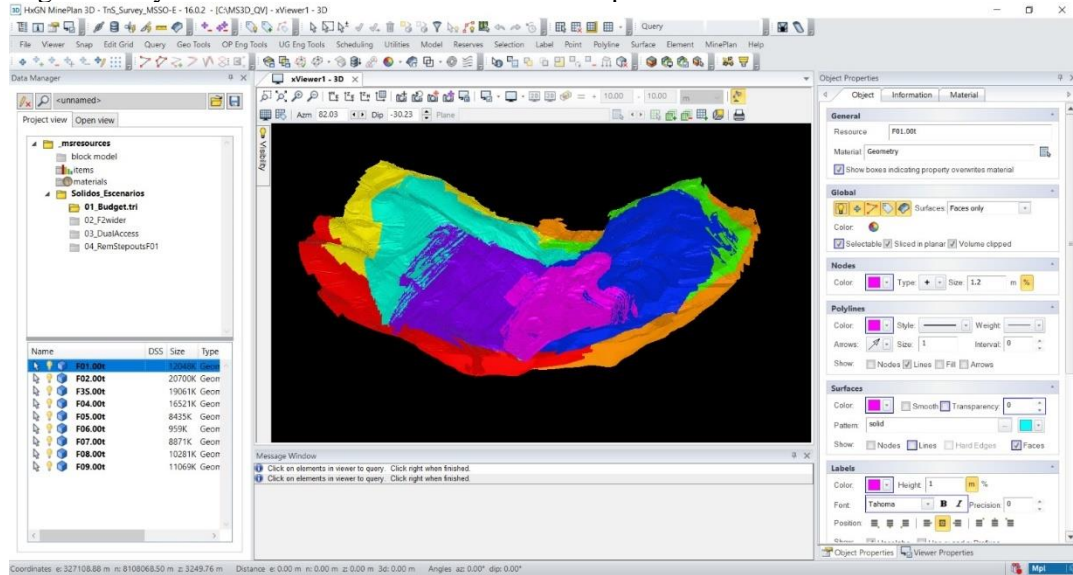
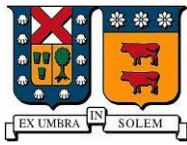


Ilustración 31: Interfaz 3D de MineSight.

Si bien ambos softwares tienen similitudes en sus interfaces 3D, el software Deswik, es el que en este caso destaca por su facilidad de uso. Deswik se destaca por ser una interfaz moderna y amigable con el usuario, con una navegación intuitiva y fácil acceso lo que facilita la adopción rápida del software, especialmente para usuarios que no están familiarizados con herramientas de planificación minera. Deswik se ha centrado en mejorar la usabilidad y la experiencia del usuario, lo que puede hacer que la interfaz 3D sea más accesible para aquellos que se están familiarizando con el software. MineSight, por otro lado, tiene una interfaz 3D que puede recordar más a las herramientas de diseño y modelado tridimensional convencionales. Esto puede requerir una curva de aprendizaje adicional para los usuarios nuevos en la planificación minera. Además de esto, MineSight ofrece una mayor capacidad de personalización en términos de asignación de propiedades, colores y estilos a los elementos visuales en el entorno 3D. Aunque esto puede proporcionar más flexibilidad, también puede implicar una mayor complejidad para los usuarios nuevos.



Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil de Minas “Estudio comparativo de software MineSight 15.7 y Deswik 2021.2 en planificación minera a largo plazo”

Obtención de Planes

Deswik.SCHED y Deswik.Blend:

En cuanto al proceso de obtención de planes los softwares son bastante diferentes. En este caso, dentro del software Deswik.SCHED, primero se debe generar un plan de extracción y luego, con el apartado “BLED” se debe generar el plan de producción.

Para el plan de producción se observa la interfaz que presenta la **Ilustración 32**. Donde podemos observar una barra de herramientas donde se deberán configurar todas las opciones que se requieran para el uso que uno le desee dar. En primera instancia, este apartado es poco intuitivo para una persona sin experiencia, no se tiene una secuenciación clara de las configuraciones a realizar para la obtención de planes.

Bajo esta barra de herramientas, tenemos un diagrama Gantt que permite visualizar las tareas junto con su duración a realizar por cada periodo. Bajo esto se tiene una tabla de reportes, en donde se pueden seleccionar las variables que se desean reportar por periodo.

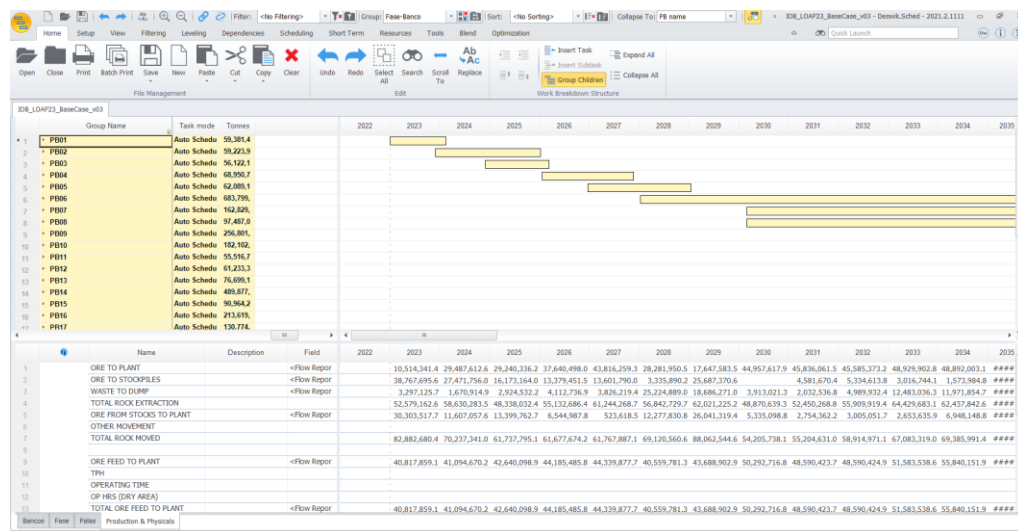


Ilustración 32: Interfaz Deswik.SCHED.

Una vez terminado el plan de extracción, se realiza el plan de producción. Al seleccionar la herramienta “BLEND”, se obtendrá la interfaz que se observa en la **Ilustración 33**. En este caso, se da una secuencia de herramientas a configurar para la obtención del plan de producción.

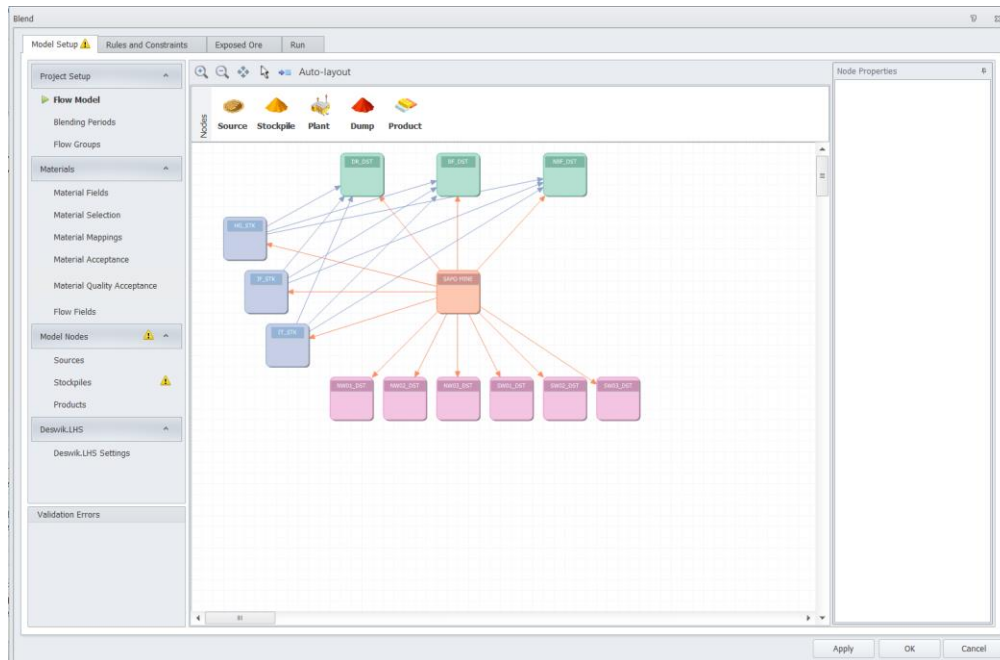


Ilustración 33: Interfaz Deswik.BLEND.

Una vez ya dentro de las herramientas, la configuración y navegación dentro de estas suelen ser fáciles de interpretar y bastante intuitivas, ya que Deswik proporciona un entorno más moderno y amigable.

MinePlan:

Por otra parte, el software MineSight realiza ambos planes dentro de una misma herramienta, MinePlan. Este apartado se encuentra representado en la **Ilustración 34**, en donde se puede observar que, en su lado izquierdo, posee un listado de las principales herramientas a configurar para la obtención del plan de producción.

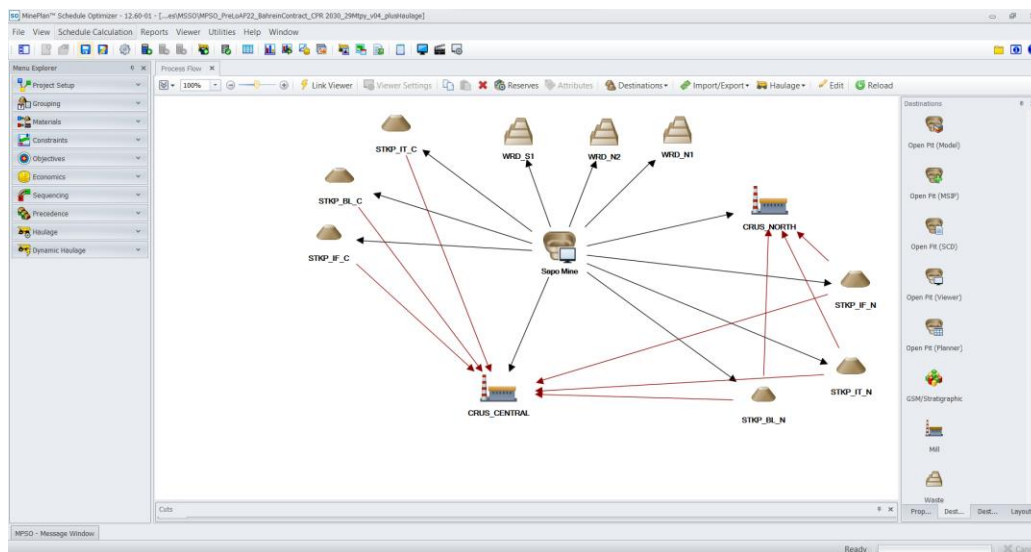


Ilustración 34: Interfaz MinePlan.



Al tener un listado de las configuraciones a realizar para la obtención de planes, es bastante fácil saber que se debe realizar para el correcto funcionamiento del software. Pero una vez dentro de sus herramientas, algunas de estas suelen ser un más complejas y de difícil entendimiento para un usuario nuevo.

Cabe destacar que, en caso de cualquier duda, ambos softwares cuentan con una herramienta “Help” para cada una de las diferentes configuraciones. Este “Help” redirecciona hacia un manual de uso en donde se puede obtener una pequeña explicación de la herramienta para cada uno de los apartados que esta posea.

La facilidad de uso de una herramienta de planificación minera ya sea MinePlan o Deswik.Sched, puede variar según la experiencia y las preferencias del usuario, así como la familiaridad con cada software. Lo que puede considerarse fácil para un usuario puede no serlo para otro. En particular, para el presente estudio se puede llegar a la conclusión de que Deswik se caracteriza por su interfaz intuitiva y su diseño amigable para el usuario, lo que facilita la navegación y el aprendizaje. Por otro lado, MineSight puede ser más complejo por lo que puede requerir una curva de aprendizaje más pronunciada.

5.8. TIEMPOS DE ESPERA

En términos de tiempos de espera y rendimiento, es importante destacar que la velocidad de respuesta y la eficiencia pueden depender de varios factores, como el hardware utilizado, el tamaño y la complejidad del proyecto, así como la optimización del software en sí. Sin embargo, en general, Deswik.SCHED tiende a ser reconocido por su rapidez en la generación de resultados en comparación con MinePlan.

Para entender la importancia de tener resultados de manera rápida, se presentarán alguno de los beneficios de utilizar herramientas rápidas:

- Mayor productividad: Con tiempos de espera reducidos, los usuarios pueden completar tareas de programación y secuenciación más rápidamente. Esto mejora la productividad general del equipo de planificación y permite una toma de decisiones más ágil.
- Iteraciones rápidas: La capacidad de obtener resultados rápidos permite a los usuarios realizar iteraciones más rápidas en la planificación minera. Pueden probar diferentes secuencias, ajustar parámetros y evaluar rápidamente los impactos de los cambios, lo que mejora la calidad y la eficiencia de la planificación.
- Mayor capacidad de respuesta: Con resultados rápidos, los usuarios pueden responder rápidamente a los cambios en las condiciones o requerimientos operativos. Pueden adaptar los planes y realizar ajustes en tiempo real, lo que contribuye a una mayor flexibilidad y capacidad de adaptación.

En la **Tabla 17**, se presentarán los tiempos de espera obtenidos al simular el caso desarrollado en este trabajo utilizando los programas mencionados:

Tabla 17: Tiempos de espera de las diferentes herramientas con Deswik.

Deswik	
Herramienta	Tiempo de espera (mm:ss)
Creación de dependencias	1:56
Asignación de recursos	0:06
Simular plan de extracción	0:34
Simular plan de producción	2:11
TOTAL	4:47



Tabla 18: Tiempos de espera con MineSight.

MineSight	
Herramienta	Tiempo de espera (mm:ss)
Creación de dependencias, asignación de recursos, simulación plan de extracción y plan de producción	9:37

Como se puede observar el software Deswik y el software MineSight difieren en su enfoque de procesamiento, ya que el primero realiza ciertas tareas de forma separada. Esto se traduce en un tiempo de espera considerablemente mayor para MineSight, debido a que debe procesar una mayor cantidad de información, lo cual aumenta la demanda de recursos del dispositivo hardware.

Como se puede observar en las **Tablas 17 y 18** el tiempo de espera utilizando MineSight es mayor que al utilizar Deswik. El tiempo al utilizar MineSight son 4 minutos con 50 segundos más. Este valor representa aproximadamente un 100% más que el software Deswik. Aunque el tiempo de espera actual es del orden de minutos y podría no representar una gran demora a corto plazo, es crucial tener en cuenta que este proceso es iterativo y está sujeto a cambios en ciertos factores. Por lo tanto, se requerirá realizar una considerable cantidad de simulaciones. Tomemos como ejemplo un día de trabajo, si se efectúan 20 simulaciones distintas, esto implicaría una pérdida aproximada de 1 hora con 37 minutos, equivalente a casi un 20% de una jornada laboral estándar de 8 horas.

Además de esto, cabe mencionar que si es que se requiere realizar una modificación solo del plan de extracción (Ej: Aumento en el rendimiento de las palas) y de esto, analizar como varían ciertas variables (Ej: Tonelaje minado), utilizando el software Deswik, solo habría que esperar un par de segundos. En cambio, si se utiliza MineSight se tendría que esperar varios minutos para poder analizar el resultado obtenido. Es importante mencionar que solo sería para el plan de extracción, porque si es que se quiere analizar cómo cambia una variable dentro del plan de producción, se debería simular el caso completo.

5.9. VENTAJAS DE CADA SOFTWARE

La revisión de condiciones comparativas de los softwares se grafica en la **Tabla 19**. Las características presentadas son aquellas consideradas básicas para el correcto desarrollo de la obtención de planes mineros:

Simbología:



: Posee la herramienta y se destaca por sobre la competencia.



: Posee la herramienta.



: No posee la herramienta



Tabla 19: Comparación de herramientas de Deswik y MineSight.

Comparación Deswik - MineSight			
	Descripción de la Herramienta	Deswik	MineSight
Interfaz 3D	Posee una herramienta que permite modificar un modelo de bloques		
	Posee un visualizador completo y rápido de los atributos de la entidad seleccionada		
	Posee un cubicador		
	Posee herramientas para realizar cortes		
	Posee un visualizador de la animación del desarrollo de la mina		
	Creación de Planes	Permite restringir tonelaje minado	
Restringir momento de inicio o termino de tareas			
Asignación de recursos			
Permite generar calendarios de utilización diferenciados para cada equipo			
Posee un asignador de dependencias			
Posee una herramienta para generar diferentes escenarios que permite evaluar diferentes situaciones			
Posee un visualizador de tareas que permite observar su fecha de inicio y fin (Carta Gantt)			
Posee reportar las variables que se necesiten sin necesidad de un Excel			
Posee un visualizador de recursos que permite observar su utilización por periodo			



	Posee un listado de las configuraciones a realizar para la obtención de plan de minado		
	Posee un listado de las configuraciones a realizar para la obtención de plan de producción		
	El reporte del plan de producción, además de entrega información por bloque, entrega graficas útiles para visualizar los movimientos mina y de caja		
	El software posee alguna herramienta que permita decidir que se desea optimizar		
	Permite definir la recuperación de mineral a partir de una variable del modelo de bloques		

La distinción entre las herramientas en diferentes aspectos resulta en que cada una de ellas sobresalga en áreas particulares respecto a su competidor. A continuación, se presentarán los aspectos en los que se destaca Deswik:

Visualizar atributos: Deswik tiene la capacidad de guardar una gran cantidad de atributos en cada una de las entidades existentes en el “Layer Control”. Esto a la hora de trabajar es de gran utilidad debido a que el usuario puede generar nuevos atributos según la necesidad que se tenga. Tener este visualizador de atributos permite obtener información de manera rápida y sencilla.

Animaciones: Deswik posee una herramienta que permite graficar las variaciones en las entidades a lo largo del tiempo. Eso puede ser útil para visualizar la secuencia de extracción, secuencia de llenado del botadero o las rutas disponibles por periodo. Si bien esta herramienta también existe dentro de MineSight, Deswik se destaca en entregar una mejor experiencia de usuario al ser una herramienta personalizable e intuitiva a la hora de utilizar.

Integración de Carta Gantt: Esta herramienta permite entregar información de gran importancia, como lo puede ser el inicio y término de cada tarea de manera rápida. Permite ver si la secuencia de las tareas es la correcta, propiedades físicas de cada tarea, recursos asignados, entre muchas otras cosas más.

Reportabilidad: Deswik.SHED permite reportar diferentes variables dentro del mismo software, sin la necesidad de un Excel. Este reporte permite aumentar la eficiencia ya que ahorra tiempo y reduce la posibilidad de errores causados por la manipulación de datos entre diferentes plataformas.

Independencia de herramientas: La adopción de enfoques distintos para los diversos hitos, como el plan de extracción con SCHED y el plan de producción con BLEND, permite realizar modificaciones en cada aspecto de manera independiente, sin interferir con el otro. Por ejemplo, es factible tener un plan minero de extracción y un plan de producción, y al mismo tiempo desear cambiar la alimentación de la planta sin alterar el plan de extracción. Deswik, gracias a su estructura modular que ofrece ambos módulos por separado, facilita esta independencia de procesos y brinda mayor flexibilidad para futuros cambios.



Personalización y escalabilidad: Deswik ofrece opciones de personalización y escalabilidad para adaptarse a las necesidades específicas de las empresas mineras, permitiendo una planificación más ajustada y adaptable a diferentes tamaños de operaciones.

En cuanto a MineSight, se pueden destacar los siguientes puntos.

Elección de objetivo a optimizar: MinePlan permite al usuario definir que se desea optimizar. Entre las opciones están maximizar o minimizar “Stripping Ratio”, “Net Present Value”, “Truck Hours”, “Shovels Hours” o alguna variable que se seleccione, como por ejemplo ley de hierro que se dirigirá al chancador.

Auto-Guardado: El software tiene la capacidad de guardar los archivos generados sin necesidad de decirle al software que guarde. Esto puede ser muy beneficioso en ocasiones como desconexiones no intencionales.

Mayor velocidad dentro del software: Al requerir un menor consumo de recursos visuales en comparación con su competencia, MineSight utiliza de manera más eficiente los recursos del dispositivo hardware. Como resultado, este software proporciona una experiencia más fluida al utilizar sus diversas herramientas.

Integración completa: MineSight y MinePlan están diseñados para operar conjuntamente como una solución integral para la planificación y diseño de minas. Esta integración fluida facilita la interacción entre los diferentes módulos y flujos de trabajo, permitiendo una colaboración más eficiente y eficaz en todas las etapas del proceso minero.

Dejando de lado las herramientas de cada software, se procede a analizar cual software, económicamente, es más rentable. En este apartado Deswik presenta una ventaja competitiva frente a su competencia MineSight. Esto debido a que, si bien, al comprar una licencia de cada uno de estos softwares, los valores comerciales son similares, MineSight realiza un cobro anual del 18% del valor de la licencia, cobro que Deswik no realiza. Este valor no deja de ser considerable teniendo en cuenta a que el valor de la licencia está en el orden de miles de dólares y que, al sexto año de uso, se estaría pagando nuevamente el valor comercial de la licencia.



6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En primer lugar, basado en el desarrollo expuesto a lo largo de este trabajo, se concluye que ambos softwares son capaces de elaborar planes mineros operacionales. A través de ambas herramientas, se logra cumplir con las restricciones operacionales establecidas en el inciso 5.2.9, sin perder de vista la producción objetivo de 28 millones de toneladas de concentrado de hierro. La factibilidad operacional de los planes mineros es fundamental para alcanzar una operación exitosa, segura y sostenible. Una planificación cuidadosa y realista asegura la utilización eficiente de los recursos, el cumplimiento de los objetivos y la gestión adecuada de los riesgos, lo que, a su vez, contribuye al éxito a largo plazo de la mina y al beneficio de todas las partes involucradas.

Por otro lado, en lo que respecta a la usabilidad de los softwares, se ha determinado que Deswik sobresale frente a su competidor MineSight. Esta afirmación se basa en la evaluación de la facilidad de uso para un usuario nuevo y los tiempos de respuesta al simular diversas situaciones en cada software. En relación con el primer aspecto, se ha constatado que Deswik cuenta con una interfaz más amigable y moderna, lo que la convierte en una herramienta más intuitiva para el usuario. La disponibilidad de un software intuitivo conlleva diversos beneficios, entre los cuales se destacan la rápida adaptación de los nuevos usuarios, una mayor eficiencia en el desarrollo de tareas y la mejora sustancial de la satisfacción del cliente. Por otro lado, en cuanto a los tiempos de espera del software Deswik se vuelve a destacar debido a su rápida entrega de resultados. En el contexto de herramientas utilizadas para la elaboración de un plan de extracción y producción, el software Deswik posee la capacidad de proporcionar resultados un 100% más rápido que su competencia, lo que permite una mayor productividad del usuario.

Además de considerar la usabilidad de los softwares, es importante tener en cuenta las características distintivas de cada uno, especialmente en lo que respecta a las herramientas que ofrecen. En este sentido, Deswik se destaca por proporcionar una amplia gama de herramientas en su software. Estas características incluyen la integración de atributos, animaciones por periodo, la incorporación de Carta Gantt, reportabilidad dinámica, así como una alta capacidad de personalización y adaptabilidad para diferentes escenarios. Por otro lado, MineSight destaca principalmente por su sistema de optimización que ofrece al usuario la capacidad de tomar decisiones sobre qué aspectos desean optimizar. Asimismo, el software se destaca por integrar herramientas de diseño y planificación de tareas en una misma plataforma. Además de sus herramientas específicas, MineSight presenta otras ventajas que contribuyen a proporcionar una experiencia mejorada al usuario. Entre ellas, se destaca la funcionalidad de autoguardado, que brinda tranquilidad al usuario al asegurar que los cambios realizados en el trabajo se almacenan automáticamente y se minimizan los riesgos de pérdida de datos. Asimismo, MineSight ofrece una mayor velocidad de navegación por el software, lo que agiliza el flujo de trabajo y mejora la productividad del usuario al acceder a las diversas funcionalidades y características.

Una ventaja comparativa del software Deswik en relación con su competidor MineSight es el enfoque en los costos asociados a la obtención de licencias. Aunque los precios comerciales de ambos programas pueden ser similares, Deswik se destaca al no aplicar un cargo adicional de mantenimiento anual como lo hace MineSight. MineSight, por otro lado, requiere un pago anual equivalente al 18% del precio comercial del software para el mantenimiento, lo que puede significar un aumento significativo en los costos a lo largo del tiempo. Esto puede ser especialmente problemático para los usuarios que desean mantener su licencia de software durante un largo período, ya que, al sexto año, habrían pagado nuevamente el costo completo de la licencia en concepto de mantenimiento.

Para finalizar con este trabajo, se le recomienda a la empresa minera adoptar el software de planificación minera Deswik debido a una serie de ventajas significativas. En primer lugar, Deswik se destaca por su interfaz más intuitiva y fácil de usar, lo que facilita la incorporación y la adopción por parte del personal.



Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil de Minas
“Estudio comparativo de software MineSight 15.7 y Deswik 2021.2 en planificación minera a largo plazo”

Además, el software exhibe tiempos de respuesta notablemente más cortos, lo que optimiza la eficiencia y productividad en el proceso de planificación minera. Otra ventaja clave de Deswik radica en sus herramientas avanzadas que ofrecen soluciones efectivas para diversas tareas y requerimientos en el ámbito minero. Además, el hecho de que Deswik presente un costo menor en comparación con la competencia, como MineSight, representa una considerable ventaja financiera a largo plazo para la empresa. Aunque es comprensible que muchos trabajadores de la industria minera ya estén familiarizados con MineSight debido a su presencia prolongada en el mercado, el presente estudio respalda la recomendación de capacitar a los operadores en el uso de Deswik. Esta formación permitirá aprovechar las múltiples ventajas que ofrece el software frente a su competidor, lo que puede traducirse en mejoras significativas en la planificación minera y en la toma de decisiones estratégicas



7. REFERENCIAS

- Camp, J. M., & Francis, C. B. (1920). *The Making, Shaping, and Treating of Steel* (2nd ed.). Pittsburgh, PA: The Carnegie Steel Company.
- Canales Espinoza, D. A. (2018). *Comparación de Metodologías de Planificación de Largo Plazo en Minería a Cielo Abierto* (Memoria de Ingeniero Civil de Minas). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería de Minas, Santiago de Chile.
- Consejo Minero. (2023). *Cifras Actualizadas de la Minería 2023* [Informe]. Recuperado de https://consejominero.cl/wp-content/uploads/2023/01/Cifras-Actualizadas-de-la-Mineria-2023-Enero_3.pdf
- Dassault Systèmes GEOVIA. (2021). Surpac. Recuperado de <https://www.3ds.com/products-services/geovia/products/surpac/>
- Datamine Software Limited. (2021). Datamine. Recuperado de <https://www.dataminesoftware.com/es/>
- Deswik Mining Consultants. (2021). Deswik. Recuperado de <https://www.deswik.com/products/>
- Díaz Pizarro, C. A. (2017). *Planificación Minera a Cielo Abierto Considerando Diseño Óptimo de Rampas* (Memoria de Ingeniería Civil de Minas). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería de Minas, Santiago de Chile
- Hexagon Mining. (2021). MineSight. Recuperado de <https://hexagonmining.com/products/minesight>
- Hustrulid, W., Kutcha, M. (2006). *Open pit planning and design* (Vol 1). Leiden, NL. Taylor & Francis/Balkema
- Lerchs, H., & Grossmann, I. F. (1965). Optimum design of open-pit mines. *Canadian Institute of Mining and Metallurgy Bulletin*, 58(650), 13-24.
- Maptek. (2021). Vulcan. Recuperado de <https://www.maptek.com/products/vulcan/>
- Meneses Rendic, D. E. (2019). *Metodología de planificación de la producción de minas a cielo abierto considerando planes alternativos* (Tesis para optar al grado de Magíster en Minería). Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile.
- Muñoz Martínez, G. I. (2012). *Modelos de Optimización Lineal Entera y Aplicaciones a la Minería* (Memoria de Ingeniero Civil Matemático). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Santiago de Chile.
- Quiroz Retamal, J. A. (2013). *Metodología para la generación de planes mineros estratégicos bajo incertidumbre de mercado* (Tesis para optar al grado de Magíster en Minería, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil de Minas). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Sillitoe, R. H. (2010). *Porphyry copper systems*. Proceedings of the 2010 SEG Annual Meeting, Keystone, Colorado, USA, 2-8 October 2010. Recuperado de



Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil de Minas
***“Estudio comparativo de software MineSight 15.7 y Deswik 2021.2 en
planificación minera a largo plazo”***

[https://www.segweb.org/SEG/Events/Conference-Archive/2010/Conference-
Proceedings/data/papers/abstracts_pub/01.pdf](https://www.segweb.org/SEG/Events/Conference-Archive/2010/Conference-Proceedings/data/papers/abstracts_pub/01.pdf)

United States Geological Survey. (2023). Mineral commodity summaries 2023: Iron ore. Recuperado de <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023-iron-ore.pdf>

Vega, J. (2018). Estudio comparativo de software minesight 11.50 y deswik 2017.1 planificación corto plazo en proyecto minera Sierra Gorda SCM



8. ANEXOS

8.1. LITOLOGIAS

Tabla 20: Litologías presentes en el modelo de bloques.

LITDN		
Valor	Descripción	Mineral/Estéril
2	Litología 1	Mineral
3	Litología 2	Mineral
4	Litología 3	Mineral
5	Litología 4	Mineral
6	Litología 5	Mineral
7	Litología 6	Mineral
8	Litología 7	Estéril
10	Litología 8	Estéril
12	Litología 9	Estéril
13	Litología 10	Estéril
14	Litología 11	Estéril
15	Litología 12	Estéril
16	Litología 13	Estéril
17	Litología 14	Estéril
18	Litología 15	Estéril
19	Litología 16	Estéril
21	Litología 17	Estéril
22	Litología 18	Estéril
24	Litología 19	Estéril
26	Litología 20	Estéril
27	Litología 21	Estéril
33	Litología 22	Estéril
34	Litología 23	Estéril
100	Litología 24	Estéril
101	Litología 25	Estéril

8.2. UTILIZACION EFECTIVA DE EQUIPOS DE CARGUIO

Tabla 21: Utilización efectiva de palas PC5500.

Pala PC5500		
	Fecha	Factor (%)
Utilización Efectiva	01/01/2023 12:00 AM	69.9
	01/01/2024 12:00 AM	69.1
	01/01/2025 12:00 AM	69.4
	01/01/2026 12:00 AM	69.5
	01/01/2027 12:00 AM	65.4



Tabla 22: Utilización efectiva de palas PC5500 P101

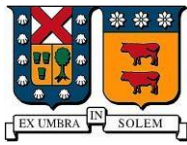
Pala PC5500 P101		
	Fecha	Factor (%)
Utilización efectiva	01/01/2023 12:00 AM	69.9
	01/01/2024 12:00 AM	69.1
	01/01/2025 12:00 AM	69.4
	01/01/2026 12:00 AM	69.5
	01/01/2027 12:00 AM	65.4

Tabla 23: Utilización efectiva de palas PC4000.

Pala PC4000		
	Fecha	Factor (%)
Utilización efectiva	01/01/2023 12:00 AM	68.9
	01/01/2024 12:00 AM	68.8
	01/01/2025 12:00 AM	69.4
	01/01/2026 12:00 AM	69.1
	01/01/2027 12:00 AM	68.7

Tabla 24: Utilización efectiva de cargadores frontales WC1200.

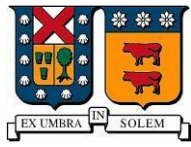
Cargador Frontal WC1200		
	Fecha	Factor (%)
Utilización efectiva	01/01/2023 12:00 AM	64.2
	01/01/2024 12:00 AM	62.8
	01/01/2025 12:00 AM	62.4
	01/01/2026 12:00 AM	62.4
	01/01/2027 12:00 AM	62.0



8.3. CARTA GANTT MEDIANTE DESWIK

	Group Name	Duration	Start	Finish	2023	2024	2025
1	PB01	180.22d	1/01/2023 12:	13/02/2024 11	[Bar chart showing duration from 2023 to 2024]		
2	PB02	203.63d	30/11/2023 12	8/01/2026 10:	[Bar chart showing duration from 2023 to 2026]		
3	PB03	192.87d	30/11/2024 12	13/03/2026 6:	[Bar chart showing duration from 2024 to 2026]		
4	PB04	266.31d	21/01/2026 9:	19/11/2027 7:	[Bar chart showing duration from 2026 to 2027]		
5	PB05	275.99d	20/12/2026 12	15/01/2029 5:	[Bar chart showing duration from 2026 to 2029]		
6	PB06	2391.20d	10/01/2028 2:	8/05/2044 7:1	[Bar chart showing duration from 2028 to 2044]		
7	PB07	819.32d	27/02/2030 6:	30/11/2039 12	[Bar chart showing duration from 2030 to 2039]		
8	PB08	496.51d	27/02/2030 6:	4/01/2037 6:5	[Bar chart showing duration from 2030 to 2037]		
9	PB09	1037.78d	1/01/2036 12:	25/06/2042 5:	[Bar chart showing duration from 2036 to 2042]		
10	PB10	802.95d	1/01/2041 12:	12/02/2046 5:	[Bar chart showing duration from 2041 to 2046]		
11	PB11	309.42d	17/01/2043 2:	18/09/2045 7:	[Bar chart showing duration from 2043 to 2045]		
12	PB12	389.86d	5/01/2043 3:4	11/12/2045 7:	[Bar chart showing duration from 2043 to 2045]		
13	PB13	324.50d	3/01/2044 9:3	28/07/2046 9:	[Bar chart showing duration from 2044 to 2046]		
14	PB14	1275.34d	26/01/2046 9:	1/06/2052 2:4	[Bar chart showing duration from 2046 to 2052]		
15	PB15	367.62d	6/02/2053 3:5	15/07/2056 3:	[Bar chart showing duration from 2053 to 2056]		
16	PB16	787.88d	26/02/2050 11	13/05/2056 10	[Bar chart showing duration from 2050 to 2056]		
17	PB17	435.34d	4/07/2055 3:4	22/05/2058 2:	[Bar chart showing duration from 2055 to 2058]		
18	PB18	1380.52d	19/01/2051 3:	11/02/2061 11	[Bar chart showing duration from 2051 to 2061]		
19	PB19	454.47d	4/01/2056 10:	3/03/2061 5:3	[Bar chart showing duration from 2056 to 2061]		
20	PB20	805.22d	4/06/2056 9:3	6/04/2061 11:	[Bar chart showing duration from 2056 to 2061]		
21	PB21	1110.01d	16/06/2058 1:	15/04/2068 10	[Bar chart showing duration from 2058 to 2068]		
22	PB22	1012.27d	17/09/2060 4:	15/05/2071 7:	[Bar chart showing duration from 2060 to 2071]		
23	PB23	835.38d	16/09/2060 6:	24/03/2071 3:	[Bar chart showing duration from 2060 to 2071]		
24	PB24	2446.95d	7/07/2055 4:4	5/08/2076 3:0	[Bar chart showing duration from 2055 to 2076]		
25	PB25	1264.70d	8/06/2069 7:5	22/06/2077 2:	[Bar chart showing duration from 2069 to 2077]		

Ilustración 35: Carta Gantt de Deswik parte 1



Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil de Minas
“Estudio comparativo de software MineSight 15.7 y Deswik 2021.2 en
planificación minera a largo plazo”

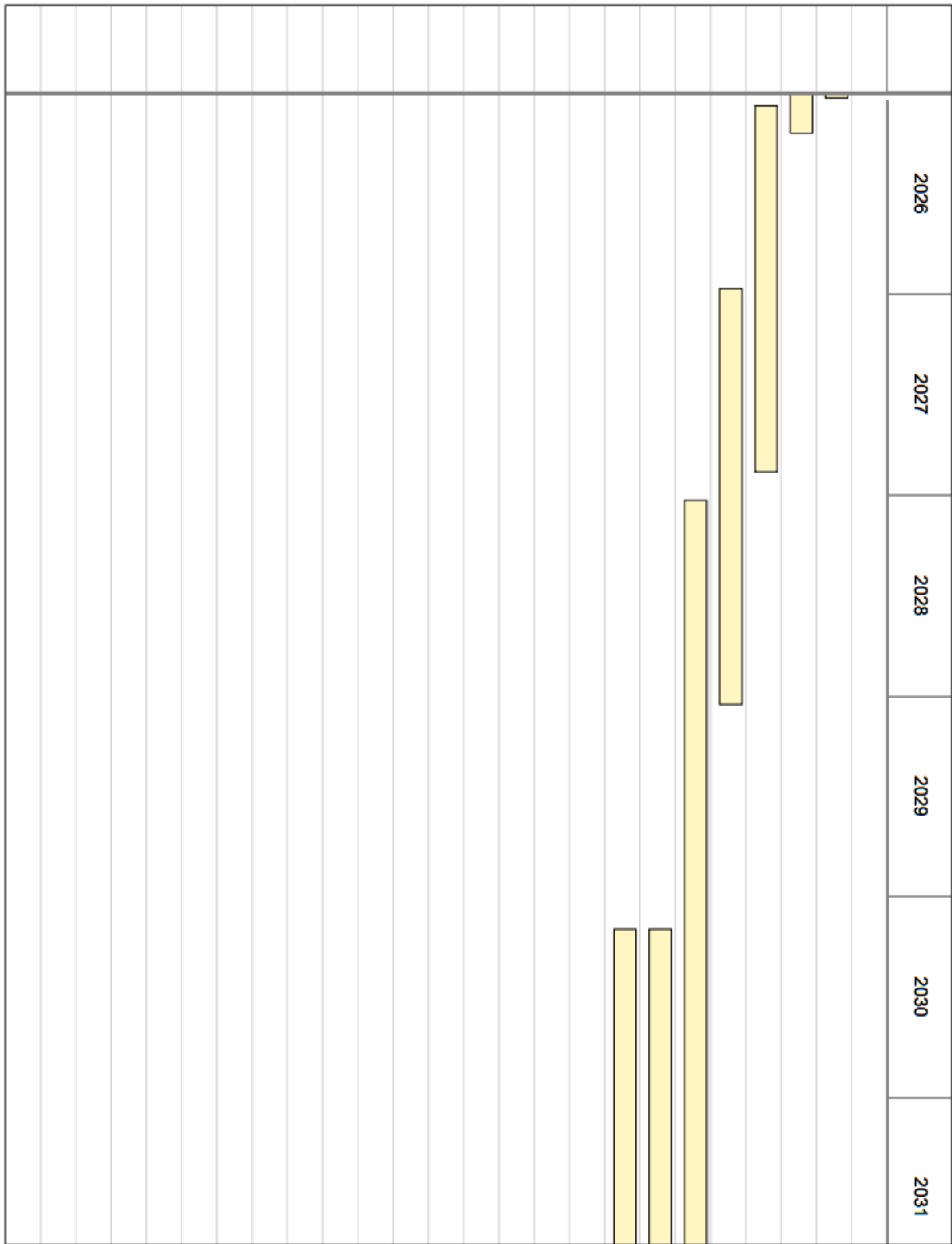
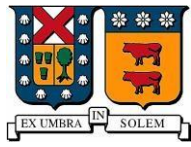


Ilustración 36: Carta Gantt de Deswik parte 2



Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil de Minas
"Estudio comparativo de software MineSight 15.7 y Deswik 2021.2 en
planificación minera a largo plazo"

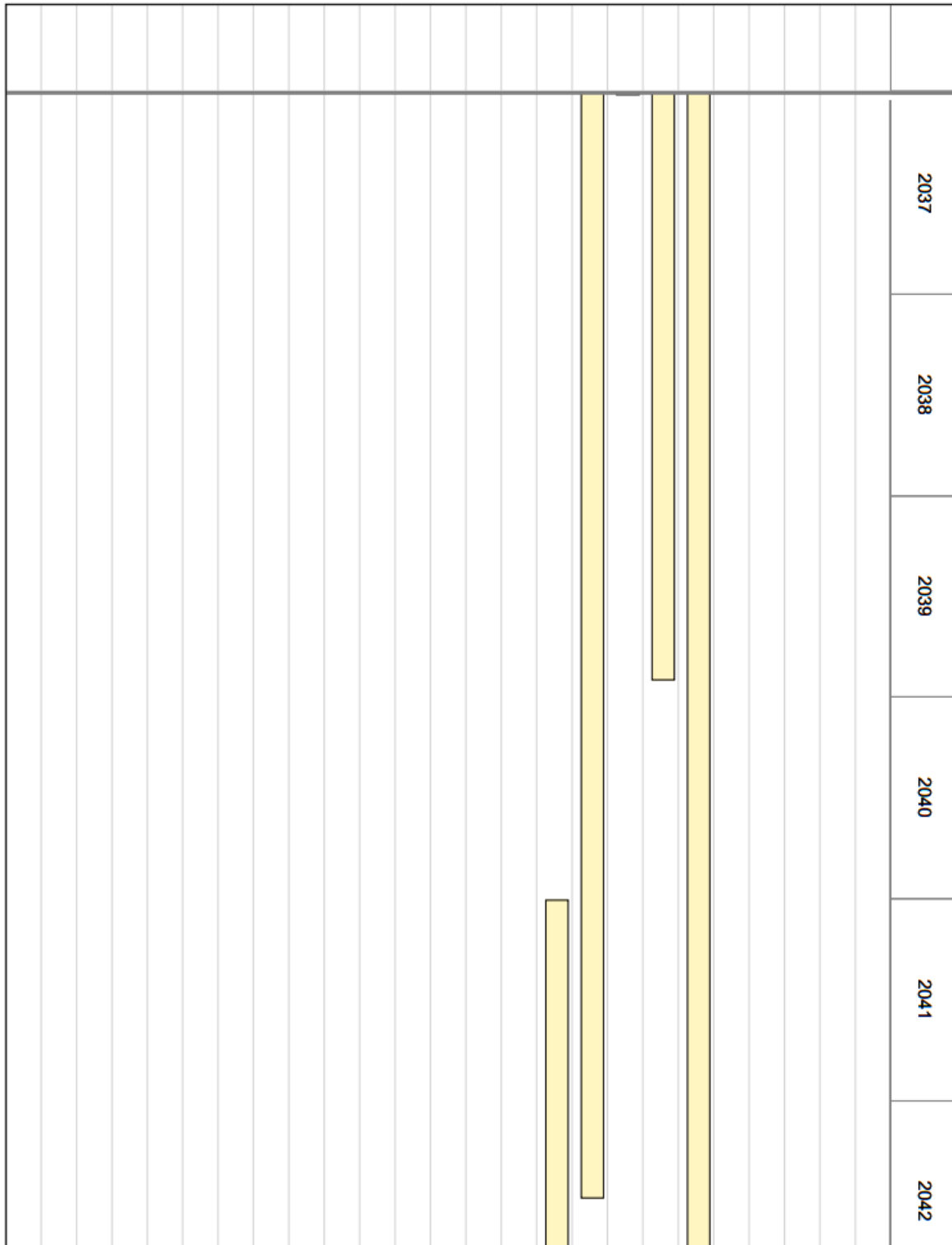


Ilustración 38: Carta Gantt de Deswik parte 4.

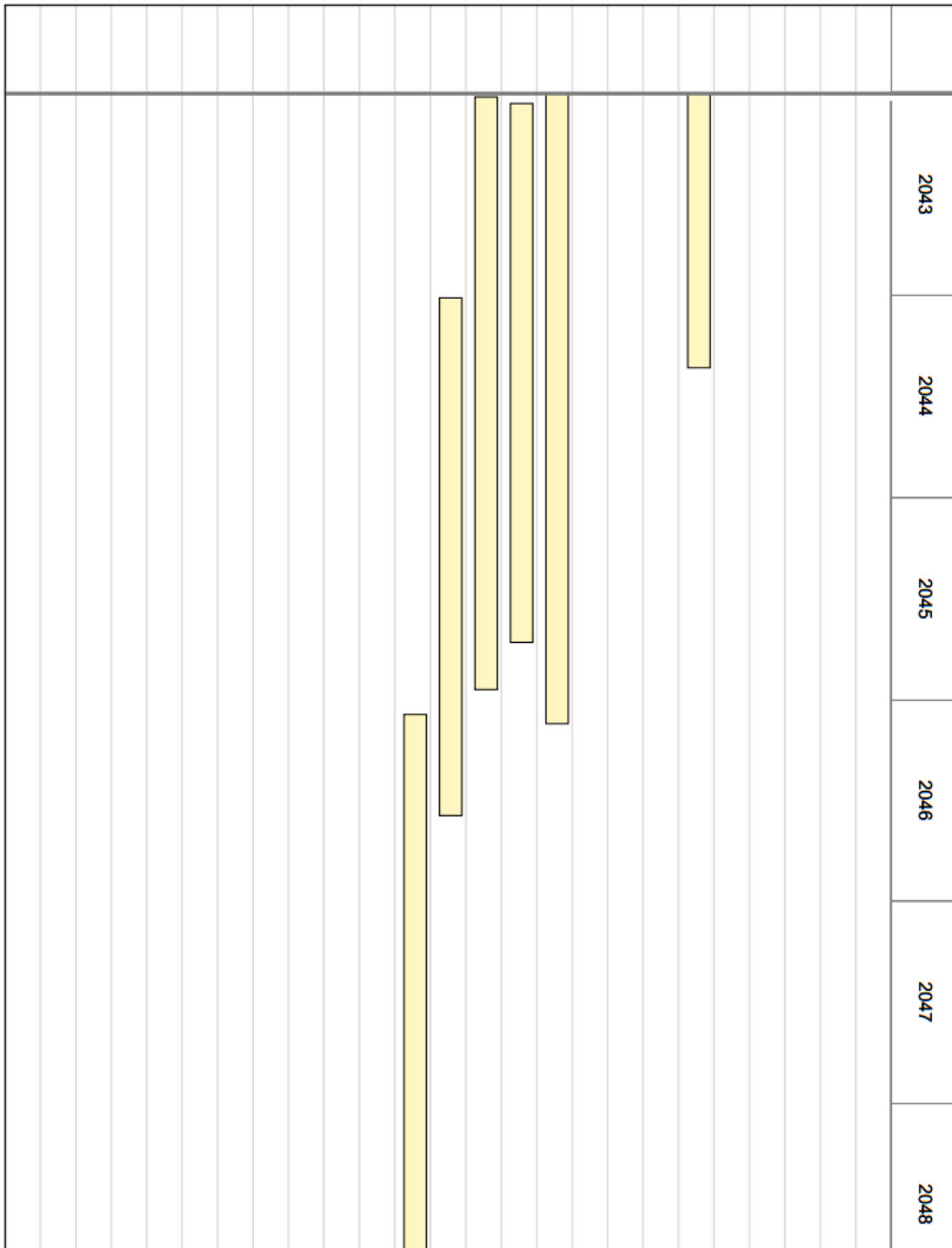
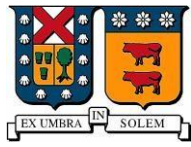


Ilustración 39: Carta Gantt de Deswik parte 5.

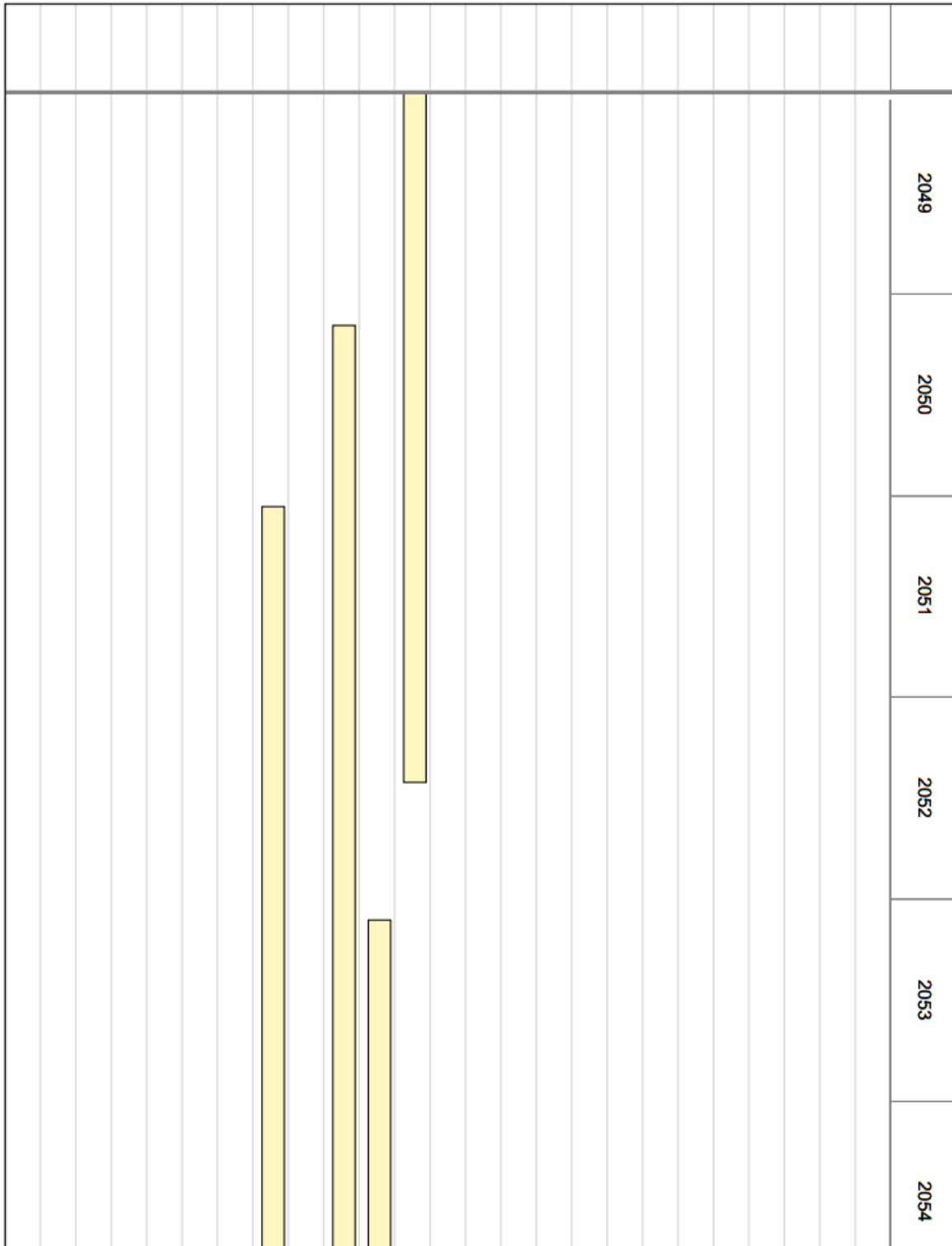
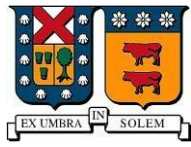
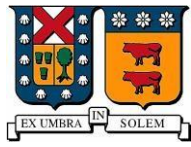


Ilustración 40: Carta Gantt de Deswik parte 6.



Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil de Minas
"Estudio comparativo de software MineSight 15.7 y Deswik 2021.2 en
planificación minera a largo plazo"

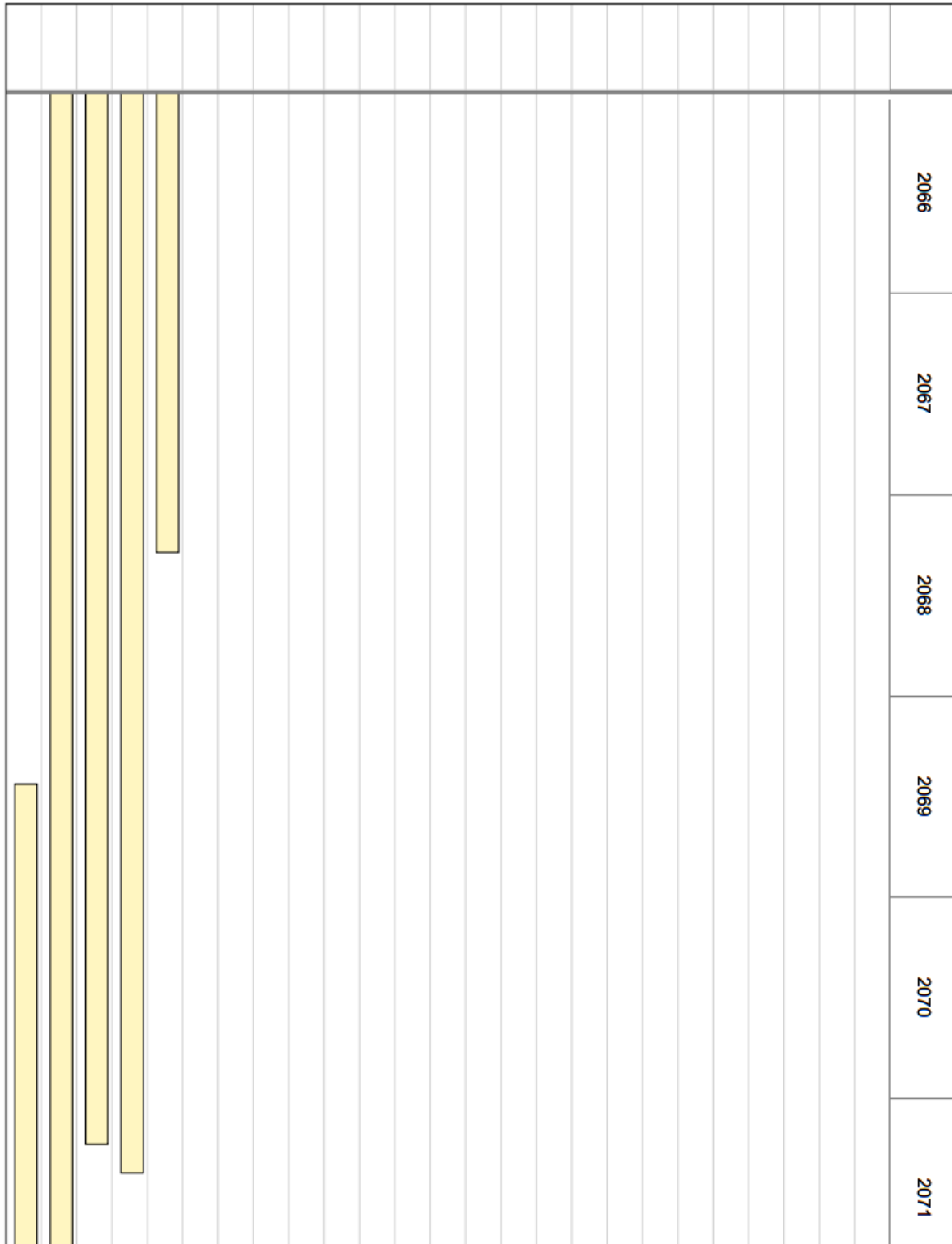


Ilustración 43: Carta Gantt de Deswik parte 9.

