

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**PROPUESTA HEURÍSTICA DE PLANIFICACIÓN OPERATIVA A CORTO Y
MEDIANO PLAZO PARA UNA MINA DE ORO EN EL CALLAO, ESTADO
BOLÍVAR**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Zerpa M., Zadkiel D.
Para optar al Título de
Ingeniero de Minas

Caracas, noviembre de 2018

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**PROPUESTA HEURÍSTICA DE PLANIFICACIÓN OPERATIVA A CORTO Y
MEDIANO PLAZO PARA UNA MINA DE ORO EN EL CALLAO, ESTADO
BOLÍVAR**

TUTORA ACADÉMICA: Profa. Aurora Piña

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Zerpa M., Zadkiel D.
Para optar al Título de
Ingeniero de Minas

Caracas, noviembre de 2018

Caracas, noviembre de 2018

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Zadkiel D. Zerpa M. titulado:

“PROPUESTA HEURÍSTICA DE PLANIFICACIÓN OPERATIVA A CORTO Y MEDIANO PLAZO PARA UNA MINA DE ORO EN EL CALLAO, ESTADO BOLÍVAR”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero de Minas, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran **APROBADO**.

Profesora Magda Acosta
Jurado Principal

Profesora Alba Castillo
Jurado Principal

Profesora Aurora Piña
Tutora Académica

**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE GEOLOGIA, MINAS Y GEOFISICA
DEPARTAMENTO DE MINAS**

ACTA

Quienes suscriben, integrantes de la totalidad del jurado examinador del Trabajo Especial de Grado, titulado: **“Propuesta heurística de planificación operativa a corto y mediano plazo para una mina de oro en El Callao, estado Bolívar”**, presentado por el Bachiller Zadkiel David Zerpa Méndez, portador de la cédula de identidad V- 20.754.915, para optar al título de Ingeniero de Minas, acordaron por unanimidad solicitarles a las autoridades correspondientes de la Facultad de Ingeniería, tengan a bien otorgar **MENCIÓN HONORÍFICA** al Trabajo de Grado antes mencionado.

Esta solicitud se hace con base en la originalidad e innovación en el enfoque utilizado para tratar el tema presentado y en la excelencia, tanto de su contenido como de su presentación formal, atributos que lo convierten en una fuente de referencia útil.

Se levanta la presente Acta en Caracas, a los veintidós (22) días del mes de noviembre del año 2018.

Profesora Magda Acosta
Jurado Principal

Profesora Alba Castillo
Jurado Principal

Profesora Aurora Piña
Tutora Académica

AGRADECIMIENTOS

Esta aventura concerniente en sacar adelante una carrera profesional fue llevada a cabo en un período aproximado de siete años de mi vida, por lo que he estado en contacto con un universo bastante grande de personas que en mayor o menor medida me han apoyado para su logro. Como todos esos nombres no caben en estas breves páginas los iré plasmando a medida que me vaya acordando, pidiendo disculpas de antemano si me paso por alto a alguien.

Primero que nada quiero agradecerle a absolutamente toda mi familia, ya que sin ellos no hubiese aprendido toda una cadena de valores, principios y respeto al prójimo que son tan necesarios para el crecimiento personal y que indudablemente asientan las bases éticas para el desenvolvimiento profesional. Los responsables principales de forjar dicha cadena de valores son mi madre Belkis Méndez, mi segunda madre Elena Vihtodenko y mi padre Adrián Zerpa. Asimismo, dentro del grupo familiar quiero agradecerle a mi tía Marialcira Zerpa que su amor y preocupación por mí son tan grandes que ocupa el puesto de mi tercera madre. También quiero agradecerles a mis hermanos Adriana Zerpa y Petter Jaspe por su apoyo incondicional que constantemente me llena de aliento.

Ahora bien le toca el turno de agradecimiento a la familia que uno elige tener, coloquialmente denominada como los amigos. El primero indudablemente en la lista es mi hermano Manuel Rojas alias “Meiny”, ya que en miles de ocasiones me apoyó con sus consejos para hacer la catarsis necesaria que me mantuviera con cordura, así como también me apoyó con importes económicos cuando lo necesitaba de forma completamente incondicional. Además quiero agradecerles a Jesús H. Matusalén alias “Chucho”, Andrea Tang alias “Chete” y a Ricardo Muñoz alias “Okole” por apoyarme cuando más lo necesité. Por último quiero agradecerles a Poly y Bubi, por haberme regalado la laptop donde realicé el presente trabajo.

Quiero agradecerles enormemente a José Jaspe y Jonás Jaspe, por ser tan buenas personas y ayudar de forma incondicional a mi madre con sus problemas y necesidades durante todos estos años.

Por último, quiero agradecerles a todos mis profesores ya que cada uno de ellos aportó su grano de arena para forjar los conocimientos que hoy en día poseo, con mención especial a mi tutora Aurora Piña por aportar su apoyo y consejos profesionales.

Por ello y mucho más, estoy eternamente agradecido.

PROPUESTA HEURÍSTICA DE PLANIFICACIÓN OPERATIVA A CORTO Y MEDIANO PLAZO PARA UNA MINA DE ORO EN EL CALLAO, ESTADO BOLÍVAR

AUTOR: ZADKIEL D. ZERPA M.

TUTORA ACADÉMICA: AURORA B. PIÑA D.

Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas 1020A, Venezuela.

Palabras clave: heurística de planificación, índices claves de producción, programa de producción, bloques de producción, relación de remoción, oro.

RESUMEN

El objetivo principal del trabajo busca estructurar un conjunto de pasos que suministren una guía para la realización de planificaciones operativas a corto y mediano plazo. La metodología llevada a cabo se basa inicialmente en el desglose de la planificación a largo plazo de una mina de oro ubicada en El Callao, estado Bolívar, para definir las bases correlativas a las capacidades de producción y procesamiento que dan cabida a las proyecciones de mediano y corto plazo. De forma subsiguiente, se propone una técnica de jerarquización en los bloques de producción definidos por el largo plazo, debido a que la rentabilidad operativa depende directamente del orden que se siga en las secuencias de explotación, para posteriormente precisar los parámetros extractivos a seguir dentro los siguientes estadios temporales: (trimestral) para el primer trimestre del año, (mensual) para los meses de enero, febrero y marzo, (semanal) para las cinco semanas de enero y (diaria) para la primera semana de enero; de manera que se aproximen lo más posible a las metas concertadas por la planificación estratégica y largo plazo. Las cuantificaciones principales que deben encarar tanto los planes a mediano como a corto plazo son aquellas concernientes a: las cantidades de estéril, mena y kilogramos de oro obtenidos; aunado al análisis del rendimiento KPI de los equipos principales de carga y acarreo, de forma tal que se puedan estimar escenarios de producción operativamente factibles y que a su vez, se encuentren dentro del marco de rentabilidad estipulado aguas arriba por las macro-planificaciones.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1. Planteamiento del problema	3
1.2. Objetivos de la investigación.....	4
1.2.1. Objetivo general	4
1.2.2. Objetivos específicos.....	4
1.3. Justificación	4
CAPÍTULO II. GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO	6
2.1. Ubicación geográfica.....	6
2.2. Acceso al área.....	7
2.3. Topografía general.....	7
2.4. Clima	8
2.5. Suelo	8
2.6. Hidrografía	8
2.7. Geología regional	9
2.7.1. Provincia de Pastora	10
2.7.1.1. Supergrupo Pastora.....	10
2.8. Geología local.....	11
2.9. Unidades de apoyo de la mina.....	14
2.9.1. Planta de procesamiento	13
2.9.2. Producción de mina	13
2.9.2.1. Perforación y control del tenor	13
2.9.2.2. Voladura	14
2.9.2.3. Carga.....	14
2.9.2.4. Acarreo	14
2.9.3. Escombreras	15
2.9.4. Reforestación.....	15
2.9.5. Soporte de mina.....	15
CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO	16
3.1. Antecedentes de la investigación.....	16
3.2. Bases teóricas	18
3.2.1. El método heurístico en la ingeniería	18

3.2.2. Planificación minera	19
3.2.3. Planificación minera a cielo abierto	19
3.2.4. Tipos de planificación minera	19
3.2.4.1. Planificación estratégica	20
3.2.4.2. Planificación administrativa	20
3.2.4.3. Planificación operativa	20
3.2.5. Horizontes de planificación	21
3.2.6. Metodologías de planificación a largo plazo	22
3.2.6.1. Primer enfoque: Metodología tradicional.....	22
3.2.6.2. Segundo enfoque: Integración simultánea de <i>pit</i> final y secuenciamiento:..	25
3.2.7. Metodología de planificación a corto y mediano plazo.....	26
3.2.8. Problemática de contar únicamente con la planificación a largo plazo.....	29
3.2.9. Parámetros a considerar en la planificación a corto y mediano	29
3.2.10. Herramientas computacionales de planificación disponibles en el mercado ...	30
3.2.10.1. Software para largo y mediano plazo	31
3.2.10.2. Software para corto plazo	31
3.2.11. Problemática de los <i>software</i> para planificación a corto y mediano plazo.....	32
CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO	33
4.1. Tipo de investigación	33
4.2. Diseño de la investigación.....	33
4.3. Objeto de estudio	33
4.4. Tareas en función de los objetivos	33
4.5. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos	36
4.6. Estructura metodológica.....	37
4.7. Análisis e interpretación de los datos	38
4.7.1. Planificación estratégica de Choco 10.....	38
4.7.1.1. Recopilación de las reservas minerales	38
4.7.1.2. Planificación estratégica quinquenal	39
4.7.1.3. Premisas de la planificación estratégica	40
4.7.1.3.1. Formato de explotación	40
4.7.1.3.2. Geotecnia.....	40
4.7.1.3.3. Cuadrillas de avance.....	41
4.7.1.3.4. Corte mínimo y relación de remoción	42
4.7.1.3.5. Escorrentía	42

4.7.1.3.6. Índices claves de producción (KPI).....	43
4.7.1.3.7. Jornada laboral.....	43
4.7.1.3.8. Productividad de la perforación.....	44
4.7.1.3.9. Productividad de los camiones	45
4.7.1.3.10. Productividad de la retroexcavadora	46
4.7.1.3.11. Pilas de almacenamiento mineral	48
4.7.2. Planificación operativa a largo plazo (quinquenal)	49
4.7.2.1. Interpretación del primer año	49
4.7.2.1.1. Resumen de la explotación	49
4.7.2.1.2. Descripción de las secuencias de explotación	50
4.7.2.1.3. Bloques de producción	52
4.7.2.1.4. Diseños de avance	56
CAPÍTULO V. RESULTADOS Y ANÁLISIS	59
5.1. Criterios de avance	59
5.1.1. Factibilidad operativa	59
5.1.2. Variables económicas	59
5.1.3. Índices claves de producción (KPI).....	60
5.2. Procedimientos generales de avance	61
5.3. Programa de producción trimestral.....	62
5.4. Programa de producción mensual.....	70
5.4.1. Explotación de bloques según orden del plan quinquenal.....	71
5.4.2. Explotación de bloques según jerarquización por RR.....	79
5.5. Programa de producción semanal.....	90
5.6. Programa de producción diario.....	104
5.7. Flujograma heurístico de planificación operativa a mediano y corto plazo	119
CONCLUSIONES.....	122
RECOMENDACIONES	125
BIBLIOGRAFÍA	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas UTM de la Concesión Choco 10	6
Tabla 2. Descripción litológica de tope a base del Supergrupo Pastora.....	10
Tabla 3. Principales Software de planificación minera disponibles en el mercado	30
Tabla 4. Reservas minerales de las fosas Rosika y Coacia	38
Tabla 5. Planificación estratégica quinquenal de Choco 10.....	39
Tabla 6. Parámetros geotécnicos de la mina.....	41
Tabla 7. Índices claves de productividad (KPI) considerados.....	43
Tabla 8. Productividad proyectada por jornada laboral.....	44
Tabla 9. Productividad proyectada para la actividad de perforación	45
Tabla 10. Productividad proyectada para los camiones Terex	46
Tabla 11. Productividad proyectada para la retroexcavadora Komatsu 1250	47
Tabla 12. Proyección anual de las pilas de almacenamiento.....	48
Tabla 13. Resumen de explotación del primer año del quinquenio.....	50
Tabla 14. Secuencia de explotación del primer semestre	51
Tabla 15. Secuencia de explotación del segundo semestre	52
Tabla 16. Evaluación y categorización de bloques, desde el 1,41 al 1,60.....	54
Tabla 17. Evaluación y categorización de bloques, desde el 1,61 hasta el 1,80	55
Tabla 18. Relación entre programa planificado y metas del quinquenio	63
Tabla 19. Comparativo de días de extracción y oro acumulado entre planes trimestrales...	65
Tabla 20. Escenarios de planificación y tiempos de uso de los equipos de carga y acarreo	67
Tabla 21. Precipitaciones promedio del primer trimestre del año.....	68
Tabla 22. Comparativo de almacenamiento mineral entre planes trimestrales	68
Tabla 23. Orden de bloques según plan quinquenal para el primer trimestre	72
Tabla 24. Cuantificación estéril-mena entre orden de explotación quinquenal <i>versus</i> metas	72
Tabla 25. Distribución horaria y recuperación de oro según el grupo de avance.....	75
Tabla 26. Almacenamiento acumulado por el orden A-B-C y metas mensuales	78
Tabla 27. Agrupación y jerarquización de bloques	82
Tabla 28. Comparación RR de grupos GB y ABC.....	83
Tabla 29. Comparativo de tiempos de ejecución y recuperación de oro según grupos.....	85
Tabla 30. Comparativo de <i>stock</i> acumulado según grupo de bloques.....	87
Tabla 31. Directrices de producción semanal.....	91
Tabla 32. Material desplazado según destino de acarreo para las semanas de enero	96
Tabla 33. Fechas de explotación y kg de oro obtenidos según grupos de bloques semanales	98
Tabla 34. Rendimiento semanal de los equipos de carga y acarreo para enero	100
Tabla 35. Pérdidas de tiempo productivo constantes por turno de trabajo.....	105
Tabla 36. Equipos mínimos necesarios para las actividades de soporte de mina.....	106
Tabla 37. Actividades de producción diaria por equipo para la primera semana de enero	107
Tabla 38. Programa de producción detallado para la primera semana de enero	110
Tabla 39. Horas de acarreo diario por flotas de camiones según destino.....	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación relativa de la Mina	6
Figura 2. Vista en planta del modelo de las fosas finales Coacia y Rosika.....	7
Figura 3. Contexto regional y local del río Yuruari	9
Figura 4. Provincias Geológicas del Escudo de Guayana	9
Figura 5. Columna estratigráfica de la Concesión Choco 10	12
Figura 6. Vista en planta de la estructura geológica de Choco 10.....	12
Figura 7. Sección transversal (W-E) representativa de las macrozonas litológicas	14
Figura 8. Morfología general de los yacimientos Rosika y Coacia.....	14
Figura 9. Secuencias de extracción Worst Case (izquierda) y Best Case (derecha).	25
Figura 10. Esquema metodológico	37
Figura 11. Identificación esquemática de las cuadrillas de avance	42
Figura 12. Identificación de los bloques de explotación sobre la topografía (vista en planta)	53
Figura 13. Perfiles esquemáticos de avance para el primer año de la fosa Rosika	57
Figura 14. Perfiles esquemáticos de avance para el primer año de la fosa Coacia	58
Figura 15. Propuesta de avance para el primer trimestre del año (vistas en planta)	70
Figura 16. Áreas planificadas a extraer según el grupo de explotación A-B-C	77
Figura 17. Zonas planificadas para su explotación según el conjunto GB (1-7).....	90
Figura 18. Esquema del sentido de avance para los bloques de la semana 1	93
Figura 19. Identificación de las vías principales utilizadas en la primera semana de enero	109
Figura 20. Esquema de explotación con dos frentes operativos en el bloque 1,62	111
Figura 21. Esquema de explotación con dos frentes operativos en el bloque 1,45	113
Figura 22. Esquema de avance para el viernes y sábado de la primera semana de enero ..	114
Figura 23. Flujograma heurístico de planificación operativa a mediano y corto plazo (Parte I)	120
Figura 24. Flujograma heurístico de planificación operativa a mediano y corto plazo (Parte II)	121

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Precipitaciones medias cercanas a la región de El Callao	8
Gráfica 2. Cuantificación estéril-mena del programa planificado <i>versus</i> metas del trimestre	64
Gráfica 3. Comparativo de días de extracción y oro acumulado entre planes trimestrales..	66
Gráfica 4. Comparativo de almacenamiento mineral entre planes trimestrales	69
Gráfica 5. Cuantificación estéril-mena entre orden de explotación quinquenal <i>versus</i> metas	74
Gráfica 6. Distribución diaria y recuperación de oro según el grupo de avance	76
Gráfica 7. Almacenamiento acumulado por el orden A-B-C y metas mensuales	79
Gráfica 8. Comparación RR de grupos GB y ABC	84
Gráfica 9. Comparativo de tiempos de ejecución y recuperación de oro según grupos	86
Gráfica 10. Comparativo de <i>stock</i> acumulado según grupo de bloques	88
Gráfica 11. Material desplazado según destino de acarreo para las semanas de enero	96
Gráfica 12. Kilogramos de oro obtenido según grupos de bloques semanales	99
Gráfica 13. Rendimiento semanal de los equipos de carga y acarreo para enero	102
Gráfica 14. Rendimiento horario de los equipos de carga para el primero de enero	115
Gráfica 15. Rendimiento horario de la flota de camiones para la primera semana	117
Gráfica 16. Rendimiento productivo diario para la primera semana de enero	118

INTRODUCCIÓN

La línea de investigación que va dirigida a la planificación minera tiene como tendencia global un enfoque en desarrollar algoritmos computacionales que permitan obtener secuencias de explotación de forma automatizada en función del mejor valor presente neto que pueda recibir la empresa en cuestión. Sin embargo, los *software* aún no arrojan modelos completamente aplicables al momento de hacerlos operativos en el campo debido a la gran cantidad de variables que deben procesar las tecnologías actualmente existentes, por lo que los planificadores hoy en día continúan realizando sus programas de producción a corto y mediano plazo de forma iterativa para el secuenciamiento de bloques geológicos, solo que se apoyan de herramientas computacionales para efectuar el proceso de análisis con mayor velocidad.

Siguiendo este orden de ideas, resulta pertinente que desde la academia se ofrezcan heurísticas y metodologías que permitan a los proyectistas estructurar planificaciones a corto y mediano plazo de forma iterativa y asistida por computadora, como alternativa al desarrollo de algoritmos computacionales para contrarrestar las actuales deficiencias en la automatización de los modelos de extracción mientras vayan evolucionando las capacidades de procesamiento de las tecnologías existentes.

La dicotomía del método ingenieril puede clasificarse en dos ramas, una dirigida a la creación de metodologías y la otra referida al desarrollo de heurísticas. La primera se sintetiza en conformar un conjunto de pasos guías que deben seguirse bajo un régimen algorítmico para que puedan aportar una solución determinada, mientras que la segunda se enfoca en aportar lineamientos o ideas que no se tienen que llevar a cabo de forma estricta para que puedan aportar o no una solución a un problema, es decir, sirve como un punto de partida para el posterior desarrollo de metodologías *sensu stricto*.

El enfoque de la investigación busca estructurar un conjunto de pasos que le permitan al planificador desarrollar de forma rápida y efectiva un programa de producción detallado para

un estadio temporal a corto y mediano plazo, donde se clasifica al mediano plazo como un período trimestral y mensual, y el corto plazo de forma semanal y diaria. El conjunto de pasos que se desarrolla está compactado en un flujograma de planificación para facilitar la rápida comprensión y utilización del mismo. Para llevar a cabo la planificación se sigue el siguiente procedimiento: se elige el primer trimestre del año y se hace la planificación del trimestre, luego se selecciona el mes de enero para realizar el plan del mes, posteriormente se escogen las cinco semanas del mes de enero para ejecutar el plan semanal y finalmente se toman los siete días de la primera semana de enero para plasmar la planificación diaria.

CAPÍTULO I. FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La línea de investigación dirigida a la planificación operativa representa una arista sensible en el rubro minero, porque a pesar de que constituye la médula espinal de las operaciones unitarias aún requiere de mayores esfuerzos para consolidar heurísticas y metodologías que permitan optimizar el estado del arte de la minería. Por ello, desde la academia surge la idea de proponer una heurística que aporte al desarrollo de las buenas prácticas ingenieriles en la minería venezolana, ya que parte de la responsabilidad de la academia consiste en informar sobre las directrices que la industria debe seguir para que se desarrolle de forma adecuada.

La problemática que se indaga en la planificación operativa desde la academia es que no existen públicamente sistematizaciones que permitan desglosar una planificación a largo plazo o un plan de explotación, para construir planificaciones a corto y mediano plazo y así proyectar escenarios de acción que optimicen la producción diaria, semanal y/o mensual. Ergo, se pretende proponer una heurística que defina un conjunto de pasos ordenados para precisar soluciones a corto y mediano plazo de forma relativamente rápida y efectiva.

En líneas generales no existen dos minas idénticas en el mundo, principalmente por las variaciones geológicas presentes en los yacimientos y especialmente cuando se habla de un nivel de detalle, por ejemplo, 1:5.000, siendo ésta la causa fundamental de que resulte sumamente difícil estructurar algoritmos que engloben una metodología de planificación a corto y mediano plazo para todos los tipos de yacimientos que se le puedan presentar a un planificador. Por ello, lo que se procura es proponer una heurística en una Formación Geológica Tipo y así delimitar su rango de aplicación.

Teniendo en cuenta los argumentos principales de los párrafos anteriores y partiendo de que se conoce una planificación a largo plazo, se genera la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo sería una heurística adecuada de planificación operativa a corto y mediano plazo para la explotación a cielo abierto de una mina de oro perteneciente a la Formación El Callao, estado Bolívar?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

Proponer una heurística de planificación operativa a corto y mediano plazo mediante iteración asistida por computadora para una mina de oro a cielo abierto, ubicada en El Callao, estado Bolívar.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Determinar metas y diseño de la planificación a largo plazo para definición de las bases operativas que delimitan a la planificación de corto y mediano plazo.
2. Precisar parámetros controlables y no controlables en la planificación a corto y mediano plazo para el establecimiento de los criterios de avance.
3. Establecer un programa de producción diario, semanal, mensual, trimestral y anual.
4. Modelar avances principales en el mediano plazo.
5. Detallar el diagrama de flujo de la heurística en forma compacta para que se facilite la interpretación de la misma.

1.3. Justificación

Cuando una empresa minera tiene a su disposición una planificación operativa a corto y mediano plazo posee una proyección operacional enfocada en programar el avance de la faena minera de forma sistemática y detallada, ya que además de identificar y ordenar los bloques geológicos según el avance de la fosa se indican los tiempos estimados para la extracción de dichos bloques de manera secuenciada, considerando diversos parámetros operativos con un nivel de detalle mayor que el estipulado en la planificación a largo plazo.

Todo ello, permite obtener un mejor seguimiento en los resultados de producción en función del uso óptimo de las variables operativas que consecuentemente dan cabida al adecuado control y regulación de las metas diarias, mensuales y anuales de la empresa.

El desarrollo de esta heurística de planificación a corto y mediano plazo tiene la intención de servir como unos pasos guías, con la cual, las empresas mineras venezolanas adquieran una forma de desglosar su planificación a largo plazo para estructurarla en planificaciones diarias, semanales, mensuales, trimestrales, y anuales que consecuentemente permitan la optimización de sus variables operativas. En otras palabras, se busca socializar el conjunto de conocimientos técnicos que atañen a la planificación operativa para que cada día existan mejores y buenas prácticas profesionales en el área de la planificación minera.

Por lo tanto, se espera que esta investigación beneficie directamente a las empresas mineras que desarrollen explotaciones a cielo abierto de minas auríferas en el país, ya que tendrán a su disposición una heurística para simplificar la macro-planificación definida a largo plazo y así, probablemente, puedan mejorar sus operaciones relativas al corto plazo.

CAPÍTULO II. GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1. Ubicación geográfica

El Callao se encuentra ubicado en el estado Bolívar, Venezuela, aproximadamente a 291 km al sureste de Ciudad Bolívar, a 172 km al sureste de Ciudad Guayana, a 19 km al sureste de Guasipati y a 40 km al noroeste de Tumeremo. La Mina se encuentra al oeste de la población de El Callao, aproximadamente a 15 km con un Azimut de 245° en dirección a la población de El Manteco, cuyas Coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM), son referidas en la tabla 1, y se muestran en la figura 1, constituyendo un área de 427 ha.

Tabla 1. Coordenadas UTM de la Concesión Choco 10

Punto N°	Norte	Este
1	807.250	617.000
2	809.500	617.000
3	809.500	615.000
4	807.500	615.000

Fuente: Tomado de Statzewitch (2017) y modificado por el autor



Figura 1. Ubicación relativa de la Mina

Fuente: Tomado de Google Maps y Google Earth Pro, editado por el autor

2.2. Acceso al área

Desde la población de El Callao hasta el sector El Choco el acceso es vía terrestre por la carretera nacional El Callao - El Manteco con una distancia aproximada de 15 km, donde el camino es asfaltado, mientras que en la entrada a Concesión el camino es principalmente de material terrígeno.

2.3. Topografía general

Se puede distinguir un dominio espacial de topografía ondulada constituida por relieves de lomas cuyas pendientes pueden llegar a ser de 45 %, intercalado con un paisaje de llanura entre lomas que definen una depresión de la superficie entre dos vertientes con forma inclinada y alargada. Las cotas de menor y mayor altura relativa en el área se aproximan a los 180 y 400 msnm, respectivamente. La explotación de Choco 10 se está llevando a cabo por minería a cielo abierto, cuyo plano topográfico fue dividido en secciones horizontales denominadas “paneles” con un espaciamiento de 50 metros y tan largas como la Concesión, numerando las divisiones de forma tal que la Concesión quedara separada en tres parcelas: Norte (N), Media (S) y Sur (-S). Existen tres sectores relevantes en la explotación: Rosika, Coacia y Pisolita, donde las dos primeras están visibles en la Figura 2.

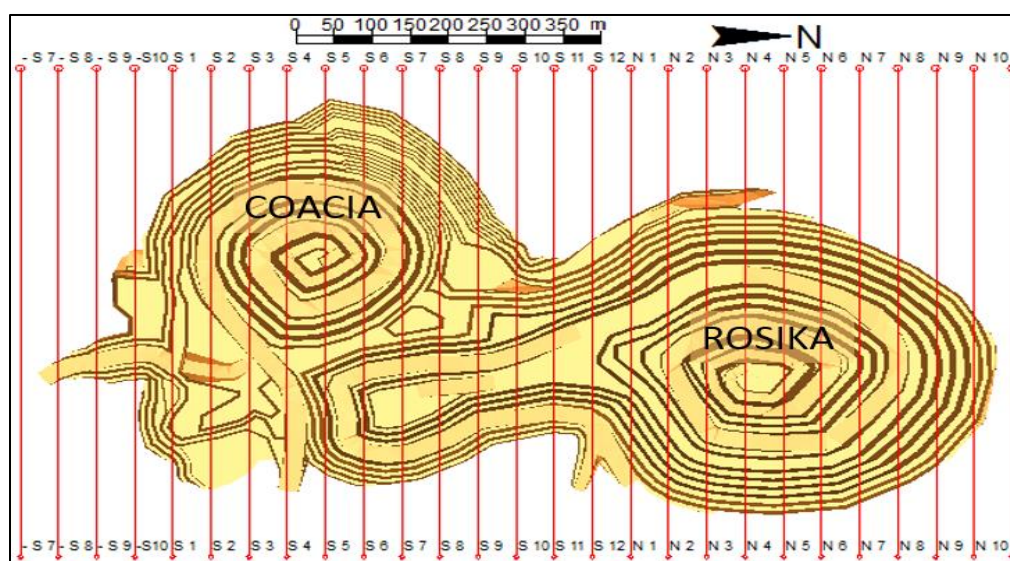
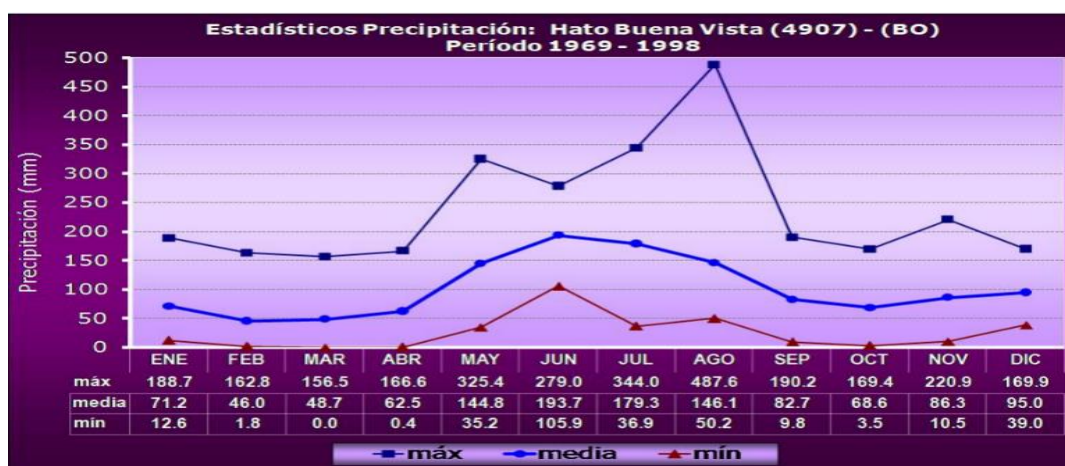


Figura 2. Vista en planta del modelo de las fosas finales Coacia y Rosika
Fuente: Tomado de Statzewitch (2017), editado por el autor

2.4. Clima

El clima es tropical de sabana arbolada, con un período de mayor índice de lluvias comprendido entre los meses de mayo a agosto, siendo este último mes el más intenso con picos máximos cercanos a los 500 mm, como se puede observar en la gráfica 1.



Gráfica 1. Precipitaciones medias cercanas a la región de El Callao
Fuente: INAMEH, (2018)

2.5. Suelo

Los suelos de Guayana son influenciados por un clima lluvioso tropical, por lo que se ha generado un perfil de meteorización profundo donde han ocurrido procesos de lavado de bases, translocación, transformación de arcillas y generación de concreciones ferruginosas, dando lugar a la presencia de suelos muy evolucionados, clasificándolos según la taxonomía de suelos como Ultisoles. Asimismo, en algunos sectores asociados principalmente a cursos de agua, valles, laderas y topes, donde han habido deposiciones recientes de sedimentos se presenta un incipiente desarrollo de suelos Entisoles.

2.6. Hidrografía

La red hidrográfica en el área de la concesión El Choco presenta un patrón dendrítico, donde la mayoría de los cuerpos de aguas superficiales son de carácter intermitente. El área de la concesión abarca la sección alta de la cuenca del río Yuruari, dicho río tiene una longitud de

290 km, nace en los macizos montañosos de El Yagual, fluye bordeando las poblaciones de Guasipati, El Callao y Tumeremo hasta encontrar el río Cuyuní en cercanías a la ciudad de El Dorado (ver figura 3).



Figura 3. Contexto regional y local del río Yuruari
Fuente: U.S. Geological Survey (izquierda) y Google Maps (derecha), (2018)

2.7. Geología regional

El escudo de Guayana se encuentra al sur del río Orinoco, ocupa aproximadamente 50 % de la superficie de Venezuela y se divide en cuatro Provincias Geológicas: Imataca, Pastora, Roraima y Cuchivero (ver figura 4), éstas forman parte del Cratón Amazónico el cual se extiende por las Guayanas, Colombia, el Norte de Brasil y Bolivia.

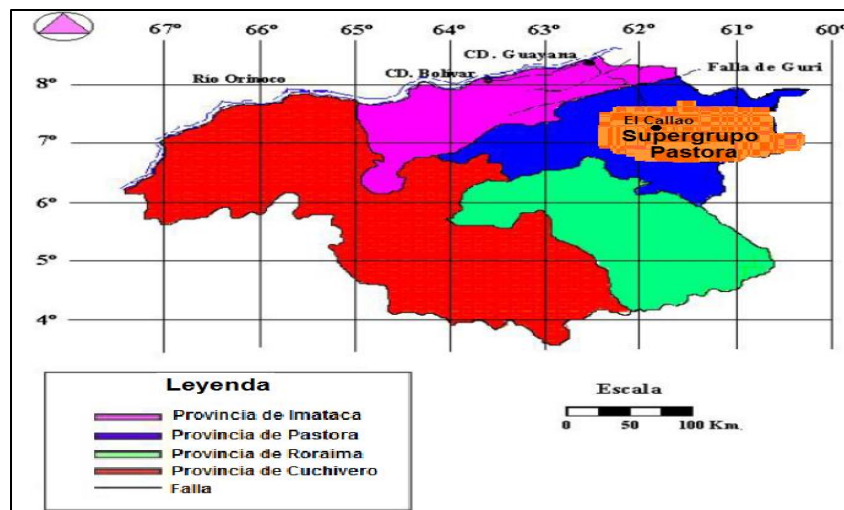


Figura 4. Provincias Geológicas del Escudo de Guayana
Fuente: Tomado de Statzewitch (2017) y editado por el autor

2.7.1. Provincia de Pastora

Se extiende desde la falla de Gurí al norte hasta las proximidades del Parque Nacional Canaima al sur (km 95), por el este hasta los límites con la Zona en Reclamación del Esequibo y al oeste hasta el Río Caura. También conocida como la Provincia del Oro, conformada principalmente por Cinturones de Rocas Verdes (CRV).

2.7.1.1. Supergrupo Pastora

Menéndez (1968; 1972) distinguió una unidad de rocas volcánicas máficas en su parte inferior y una unidad de rocas volcánicas félsicas y sedimentarias asociadas en su parte superior. La unidad máfica la identificó como Grupo Carichapo, constituida por las Formaciones El Callao y Cicapra, y la unidad félsica como Formación Yuruari, elevando la unidad completa al rango de Supergrupo, excluyendo a la Formación Caballape. Adicionalmente, Menéndez (1994) diferenció y añadió en la base del Grupo Carichapo a la Formación Florinda (ver tabla 2).

Tabla 2. Descripción litológica de tope a base del Supergrupo Pastora

Supergrupo Pastora			
Formación Yuruari (Tope)	Grupo Carichapo		
	Formación Cicapra	Formación El Callao	Formación Florinda (Base)
La litología es esencialmente un producto de vulcanismo dacítico o riódacítico muy bien desarrollado en su parte media y superior donde contiene lavas, brechas y tobas, además de areniscas y limolitas feldespáticas de estratificación delgada (Menéndez, 1994). En la parte inferior contiene filitas manganesíferas y grafiticas de estratificación fina, inter laminada con limolitas feldespáticas y con filitas cloríticas.	Según Menéndez (1968; 1994), tiene una litología distintiva de esquistos anfibólicos (80%) derivados de brechas y tobas de composición basáltico-comatiítica, y de lodolitas, areniscas y conglomerados grauváquico-volcánicos, muy pobres en cuarzo.	La unidad consiste casi en su totalidad de metalavas de composición basáltica (Menéndez, 1972); comúnmente exhiben estructuras en almohadillas hasta de 2 m de diámetro, que presentan amígdalas principalmente de cuarzo que se concentran en el tope de los flujos, además de fracturas radiales rellenas de epidota y cuarzo; algunas coladas presentan estructura columnar. Las lavas almohadilladas son afáníticas y alternan con coladas no almohadilladas, de grano más grueso y textura subofítica.	La unidad está compuesta por metabasaltos toleíticos magnesianos a normales con estructura de almohadillas, e intercalados con una menor proporción de rocas talco carbonáticas, las cuales se identificaron como peridotitas comatiíticas metamorfizadas. Menéndez (1972).

Fuente: Tomado del Léxico Estratigráfico de Venezuela, (1997) y editado por el autor

2.8. Geología local

El Proyecto Choco 10 está conformado principalmente por los depósitos Rosika y Coacia, los cuales están ubicados geológicamente en una secuencia estratigráfica supracrustal, de edad Proterozoica inferior a media, constituida predominantemente por las Formaciones El Callao y Cicapra.

Los tipos de rocas representativos de los depósitos son: vulcanitas máficas tholeíticas metamorfoseadas en facies dese Prehnita – Pumpellita hasta raramente Esquistos Verde (flujos masivos y basaltos almohadillados), vulcanitas y vulcanoclásticas calco-alcalinas de composición intermedia hasta félsica (tobas y aglomerados andesíticos y dacíticos), sedimentos químicos (chert) y epiclástico (grauvacas, limonitas y filitas). Estas rocas han sido intrusionadas por diques máficos (diabasa y gabro) y secundariamente félsicos (pórfidos cuarzo-feldespáticos).

El área de Rosika se encuentra ubicado al norte de la concesión Choco 10 y el área de Coacia se ubica al sur de Rosika, están litológicamente definidas de base a tope como se describe a continuación y cómo se puede apreciar en la columna estratigráfica de la figura 5. La base está constituida por una unidad de flujos basálticos tholeíticos almohadillados (MB), con brechas derivadas por rocas basálticas e intercalaciones de rocas vulcanoclásticas máficas y basaltos fracturados in situ.

Hacia el tope en contacto tectónico se encuentran vulcanoclásticas tholeíticas generalmente conformadas por conglomerados y brechas caóticas como flujos sinsedimentarios o epiclásticos (PM), con presencia local de arenisca arcosa de composición basáltica. Seguidamente hacia el tope se encuentran vulcanoclásticas calcoalcalinas de grano fino a medio de composición andesítico-dacítico (SN).

Por último, un cuerpo intrusivo de gabro (GB) que cubre la secuencia de Rosika-Coacia, generalmente, de grano grueso en el centro de la unidad intrusiva a grano fino hacia el extremo.

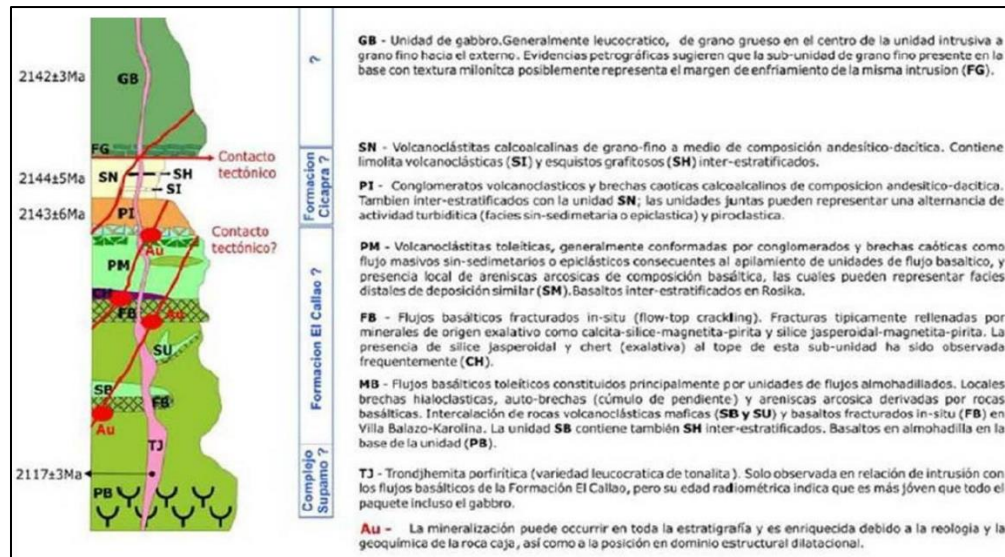


Figura 5. Columna estratigráfica de la Concesión Choco 10
Fuente: Statzewitch, (2017) y editado por el autor

Dentro de la concesión se encuentra el depósito Pisolita, situado al suroeste de Rosika (ver figura 6), está compuesto por flujos basálticos tholeíticos, constituidos principalmente por unidades de flujos almohadillados, brechas hialoclastitas, tobas intermedias y máficas.

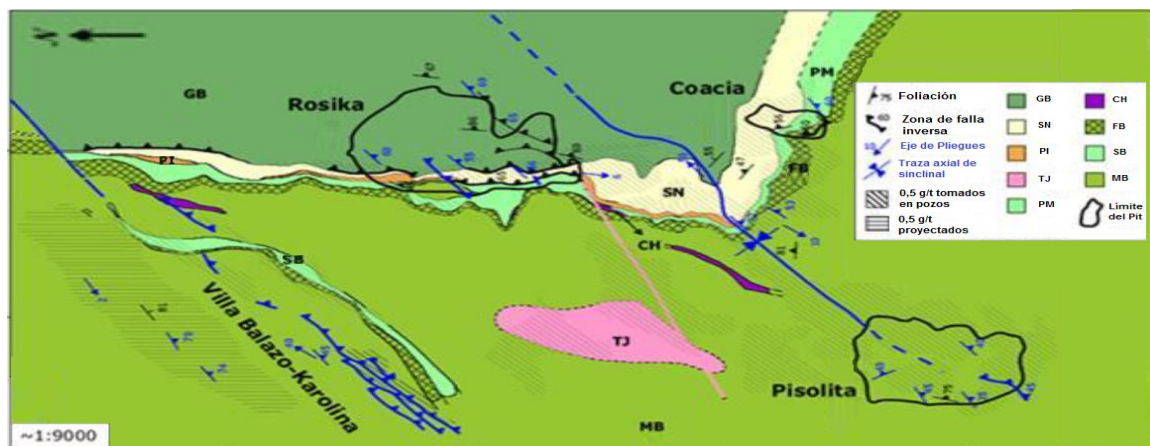


Figura 6. Vista en planta de la estructura geológica de Choco 10
Fuente: Tomado de Statzewitch (2017) y editado por el autor

La secuencia litoestratigráfica de El Callao presenta pliegues, zonas de fracturación y cizallamiento regional con una orientación noreste y buzamiento hacia el sureste, donde se distinguen dos zonas principales:

- Zonas de cizallamiento dentro de un plano de estratificación: Están definidas por la interfase de los flujos de lavas, estas zonas tienen el mismo rumbo noreste (N 60° – 80° E), con buzamientos de 35° a 55° al sureste.
- Zonas de cizallamiento oblicuo: Cortan la secuencia litoestratigráfica con rumbo noreste y con un buzamiento más fuerte de 70° a 85° sureste.

En general, Choco 10 se puede estructurar en profundidad por tres macro-zonas litológicas:

1. Zona de óxido saprolítico: Presenta un alto grado de oxidación debido a la laterización de la roca, se presenta en las partes más someras del yacimiento ya que estuvieron expuestas a los agentes meteóricos durante periodos prolongados. Es la zona con el proceso de oxidación más avanzado, lo cual se ve reflejado en su color pardo y en ciertos casos rojizos, así como en su densidad que ronda los 1,53 t/m³.
2. Zona transicional: Posee cierto grado de oxidación, su apariencia no se diferencia mucho de la roca fresca, sin embargo su densidad lo delata teniendo un aproximado de 1,7 t/m³. Se le puede encontrar en profundidades cercanas a la superficie en conjunto con el saprolito.
3. Roca caja: En su mayoría basaltos almohadillados, es roca no afectada por la intemperie. Posee una densidad mucho más elevada debido a su génesis ígnea, alcanzando un aproximado de 2,7 t/m³. Posee un color grisáceo puede ser encontrado en casi cualquier profundidad ya que representa casi el 95 % de las reservas presentes en Choco 10.

La presencia de estas tres macro-zonas no garantiza la existencia de una mena aprovechable, ya que dependerá del tenor de la veta en cuestión para considerar a un subsector como estéril o no. En la figura 7 se aprecia una sección que delimita de forma representativa las tres macro-zonas mencionadas, allí se evidencia que la zona de óxido saprolítico representa un porcentaje muy pequeño en relación a la totalidad yacimiento.

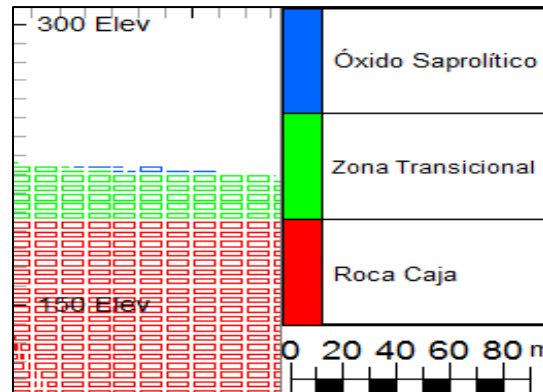


Figura 7. Sección transversal (W-E) representativa de las macrozonas litológicas
Fuente: Elaboración propia

En lo que a la morfología de los yacimientos respecta, los cuerpos mineralizados son lenticulares con buzamientos cercanos a los 35° y 45° hacia el este como se aprecia en la figura 8.

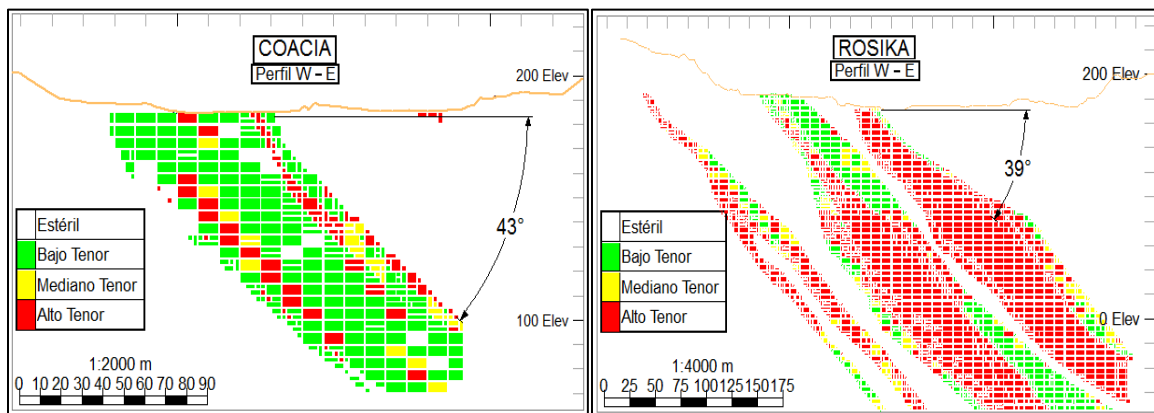


Figura 8. Morfología general de los yacimientos Rosika y Coacia
Fuente: Elaboración propia

2.9. Unidades de apoyo de la mina

La mina se encuentra conformada principalmente por cinco unidades de apoyo, mencionadas a continuación:

- ✓ Planta de procesamiento
- ✓ Producción de mina
- ✓ Escombreras
- ✓ Reforestación
- ✓ Soporte de mina

2.9.1. Planta de procesamiento

En el 2017 la planta de procesamiento tuvo una capacidad de producción de 4.395 toneladas diarias, para el 2018 dicha capacidad se tiene estipulada aumentar a 6.496 toneladas diarias y finalmente para el 2019 se proyecta aumentar la capacidad a 9.477 toneladas diarias. La planta es alimentada con material extraído de las minas Pisolita, Coacia, Rosika y arena de minas aluvionales provenientes de fuentes externas pertenecientes a la concesión.

La planta utiliza el proceso de adsorción con carbón activado en pulpa (CIP). Primeramente, el material entra en un proceso de conminución por medio de una trituradora de mandíbula y luego por dos molinos (bolas y semi-autógeno), en los cuales comienza la adición de cianuro para el posterior proceso de lixiviado.

El proceso de lixiviación se lleva a cabo en seis tanques, en los cuales la pulpa se encuentra en constante movimiento y adición de oxígeno. Posteriormente, la pulpa pasa a siete tanques donde comienza el contacto con el carbón activado, luego se lava dicha pulpa “activada” en un medio ácido, donde el líquido resultante se lleva a unas celdas electrolíticas para finalizar la concentración antes del proceso de fundición.

2.9.2. Producción de mina

A continuación se describen de forma general las operaciones unitarias de la mina:

2.9.2.1. Perforación y control del tenor

El proceso de perforación se realiza con un mallado 4,5 m x 4,5 m, con una profundidad de 11 m que considera la sobreperforación de 1 m. Se cuenta con una perforadora Atlas Copco CM 785 con brocas de diámetros adaptables que varían desde los 4,3 hasta 6,5 pulgadas, tiene un equipo roto-percutor con martillo de fondo (DTH) que impulsa el aire y facilita la toma de muestras.

El control del tenor busca estimar con mayor detalle la ley de corte de la mineralización próxima a ser volada, para llevar a cabo el proceso se toma un mallado 4,5 m x 9 m con un altura de perforación de 11 m, donde en cada metro se consigue una muestra que se cuartea para obtener una muestra representativa de aproximadamente 2kg, la cual es enviada al laboratorio para consumir los análisis mineralógicos y piro-metalúrgicos respectivos. De esta forma se actualiza el modelo de bloques que permite consolidar planificaciones selectivas y admite llevar un mejor control en el procesamiento mineral de planta metalúrgica.

2.9.2.2. Voladura

Los barrenos son cargados mediante un camión de explosivos que posee únicamente emulsión, esto debido a que para realizar el proceso extractivo del oro se requiere de una gran fuerza de fragmentación por el tipo de formación geológica, y también porque con el uso de solo emulsión los costos asociados a la trituración y molienda disminuyen considerablemente a lo largo del tiempo.

2.9.2.3. Carga

Una vez volado el material, la carga se ejecuta en sobre-banco y es cumplida por una retroexcavadora Komatsu 1250, la cual tiene una capacidad máxima de balde de 6,2 m³, así como una amplitud de barrido entre la profundidad máxima y la altura máxima efectiva de 22,3 m (9,3 y 13 m respectivamente), lo cual permite un desempeño óptimo en la altura de banco utilizado en la mina. Cabe destacar que el arranque del material es directo (sin voladura) cuando se realiza en zonas de óxido saprolítico.

2.9.2.4. Acarreo

Actualmente, se tienen en circulación cuatro camiones Terex con capacidades de 100 toneladas (32 m³) cada uno, éstos cumplen un circuito de acarreo desde el frente de explotación más lejano hasta los patios de stock que ronda los 2,8 km según datos brindados por la planificación estratégica.

2.9.3. Escombreras

En Choco 10 se pueden observar escombreras con un ángulo de reposo de 30°, con vías de 10 a 30 metros de ancho (según sean las dimensiones del equipo de carga que va a transitar en ellas) e inclinación máxima de 8°. El desarrollo de las mismas se realiza por el método de vertido interno.

2.9.4. Reforestación

La reforestación se ejecuta en base a planes quinquenales que buscan una recuperación anual próxima a 10 hectáreas de diversas zonas de la mina. Choco 10 posee un vivero donde se cultivan especies autóctonas de rápida adaptación a los medios en los cuales van a ser expuestas.

2.9.5. Soporte de mina

Es el grupo encargado de asegurar la continuidad en la producción minera, conservando en buen estado las vías, drenajes, taludes, señalizaciones entre otras especificaciones de la mina. Estas actividades auxiliares se realizan con un conjunto de equipos entre los cuales se pueden citar la motoniveladora, tractores, camiones cisternas, entre otros.

CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes de la investigación

- **Castillo, L.** (2009), “Modelos de optimización para la planificación minera a cielo abierto”, Tesis de Grado, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago de Chile. El objetivo de este trabajo es evaluar la verosimilitud y robustez de los *software* de planificación a cielo abierto hoy día utilizado en la industria minera, con miras a definir el estado del arte de la planificación a cielo abierto. Se muestra que a partir de una misma metodología de trabajo en cada software, el resultado de definición de *pit* final cambia, a pesar de que en todos los casos ocupan conceptualmente el algoritmo de *Lerchs-Grossman*. Estas diferencias se observan por cómo se definen: las precedencias entre bloques, el ángulo de talud y la manera que se calculan los beneficios.
- **Vargas, M.** (2011), “Modelo de planificación minera de corto y mediano plazo incorporando restricciones operacionales y de mezcla”, Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago de Chile. El trabajo consiste en desarrollar un modelo de optimización que permita evaluar múltiples escenarios para la toma de decisiones en el proceso de planificación de corto y mediano plazo, integrando mezclas de minerales y que constituya una herramienta de análisis para el planificador minero para construir de manera automática múltiples secuencias óptimas de extracción de bloques.
- **Artigas, M.** (2011), “Diseño de patrones de perforación y voladura, para normalizar la fragmentación del material resultante de la micha Choco 10 empresa PMG S.A. El Callao, Estado Bolívar”, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas. El trabajo expone una propuesta para el diseño de los patrones de perforación y voladura que normalicen la fragmentación del material que actualmente es extraído en la Mina Choco 10, ubicada en el Municipio El Callao, Estado Bolívar.

- **Melo, Y.** (2016), “Propuesta metodológica para la planificación de soporte de mina, en Canteras del Distrito Capital”, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas. El estudio se planteó dentro del marco de la planificación operativa con horizontes de producción a corto plazo, presentado en un plan trimestral de actividades que se fue adaptando a los resultados obtenidos semanalmente. Partiendo desde un análisis de las metas alcanzadas semanalmente, con los recursos existentes dentro de la Empresa, obteniendo un comparativo entre la capacidad de acarreo de material desde los frentes de mina, antes y después de la aplicación de la propuesta, resultando un incremento de 29 % de material acarreado para el beneficio mineral. Para mantener en el tiempo la efectividad de la propuesta se recomienda la implementación de un plan de mantenimiento preventivo y predictivo integrado al proceso de planificación operativo de mina, optimizando el plan minero.
- **Statzewitch, J.** (2017), “Propuesta de planificación a largo plazo para la mina Choco 10, en el bloque Guasipati – El Callao, Municipio El Callao, estado Bolívar, periodo 2017-2021”, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas. Se presenta una propuesta de metodología para el diseño de secuencias de explotación en planificaciones a largo plazo, que normalicen y prioricen variables como la relación de remoción y ley mineral usada en la Planificación a Largo Plazo en la Mina Choco 10, ubicada en el municipio El Callao, estado Bolívar. Estas variables se les asignan preguntas para ser afiliadas a un diagrama de flujo final, utilizado como herramienta para la realización de la secuencia del Plan Quinquenal 2017-2021. El uso del diagrama de flujo desarrollado en la presente investigación facilita la tarea del planificador, generando un sistema en el cual las variables son priorizadas para un mejor avalúo. Se sugiere la creación de planes alternativos los cuales vean en casos hipotéticos la suspensión de operaciones en diferentes frentes operativos y fosas.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. El método heurístico en la ingeniería

La palabra heurística proviene del griego *εὕρισκω* (heurisko) que se puede traducir como “descubrir” (etimología que comparte con eureka). Una heurística se puede definir como cualquier conjunto de reglas o sugerencias que se van tanteando para proveer una ayuda o dirección confiable en la solución de un problema, cuyo análisis final del camino elegido es difícil de justificar y probablemente presenta fallas, se usa principalmente para guiar, descubrir y divulgar, donde en el universo ingenieril se le atribuye el nombre de Diseño de Ingeniería. Una heurística tiene cinco características principales (Koen, 1985):

- ✓ No garantiza una solución en todos los casos de aplicación.
- ✓ La validez de la solución presenta incertidumbre
- ✓ Puede contradecir otras heurísticas.
- ✓ Reduce el tiempo de búsqueda en la solución de un problema.
- ✓ Su aceptación depende del contexto específico y no de un estándar absoluto.

Igualmente, Koen (1985) comenta que las heurísticas se usan principalmente para resolver problemas complejos y poco comprendidos, donde las técnicas analíticas convencionales serían inadecuadas o consumirían demasiado tiempo para arrojar soluciones factibles.

La mayoría de los Ingenieros no han pensado nunca conscientemente acerca del concepto formal de la heurística, pero todos los Ingenieros reconocen la necesidad de una palabra que abarque las cinco características mencionadas. Los sinónimos principales del término heurística son: Regla del pulgar, intuición, técnica, indicación, cosas del oficio, juicio de Ingeniería, fundamento de trabajo, o como en francés “*le pif*” (olfato) para describir esta aceptable pero falible estrategia de Ingeniería para la solución de problemas.

En conclusión, la heurística se utiliza en la Ingeniería para producir, con los recursos disponibles, el mejor cambio posible en una situación pobremente estudiada.

3.2.2. Planificación minera

Las empresas mineras están obligadas a presentar a la administración gubernamental un proyecto de la explotación a realizar, previo a la obtención de la concesión final de explotación, y posteriormente deben presentar un plan de labores anuales, que permite ejercer control por parte de los directivos de la compañía y por parte del Estado, que es el propietario de las riquezas en el subsuelo. Estos artículos constituyen documentos bancables, necesarios para conseguir préstamos, justificar inversiones, y que en el caso de empresas que cotizan en la bolsa, inciden de manera directa en el valor de las acciones. En consecuencia surge la disciplina de planificación minera, que se define como el proceso de la Ingeniería de Minas que transforma el recurso mineral en el mejor negocio productivo, alineado con los objetivos estratégicos de la corporación, sean estos maximizar el valor presente neto, el volumen total de reserva, maximizar el tiempo de explotación, minimizar el riesgo de la inversión, etc., e integrando las restricciones impuestas por el recurso mineral, el mercado y el entorno (Vargas, 2011).

3.2.3. Planificación minera a cielo abierto

Luego de considerar la minería a cielo abierto como una alternativa económicamente viable, la determinación del *pit* final y la optimización de un plan de producción se transforman en los análisis preliminares de mayor importancia para la planificación minera a cielo abierto, donde el diseño del *pit* óptimo y el adecuado secuenciamiento juegan un papel fundamental durante toda la vida de la mina (Jofré, 2012).

3.2.4. Tipos de planificación minera

Es posible separar en diferentes niveles el proceso de planificación de acuerdo a las características de decisión que deberán ser tomadas:

3.2.4.1. Planificación estratégica

Corresponde a la Alta Dirección, y actúa fundamentalmente sobre las salidas (*outputs*) de la empresa, esto es sobre aquellas decisiones previas que determinan la naturaleza misma y la dirección del negocio. Es decir, debe considerar no solo los grandes objetivos que definen la propia empresa, sino también los planes, la captación de los recursos y los medios para lograrlos. No es solamente donde ir, sino también cómo ir y qué debe ser la empresa, de acuerdo con los medios realmente disponibles o factibles (Plá *et al.* 2001). Igualmente, Vargas (2011), comenta que la planificación estratégica se refieren a la elección de los métodos de explotación, capacidad mina y de procesamiento, y en general las estimaciones de reservas mineras. El principal objetivo de la planificación estratégica es sincronizar el mercado con los recursos disponibles y la misión de la compañía.

3.2.4.2. Planificación administrativa

Es la que relaciona las entradas (*inputs*) de la empresa, los famosos "M" americanos (*men, materials, machines, money, management*), estudiando sus necesidades y sus distribuciones relativas para lograr el óptimo producto, el equilibrio y armonía entre ellas, preparando los programas correspondientes de (Plá *et al.* 2001):

- ✓ Formación de personal,
- ✓ Abastecimiento o disponibilidad de materias primas,
- ✓ Selección y mantenimiento de procesos y maquinaria,
- ✓ Financiación, resultados y tesorería,
- ✓ Selección y captación de personal directivo,
- ✓ Investigación tecnológica y de mercado.

3.2.4.3. Planificación operativa

Plá *et al.* (2001), la definen como la planificación que actúa sobre los factores de suministro, conversión, producción y comercialización para lograr los productos requeridos en el tiempo,

lugar y precio, así como para su promoción y distribución. Suele dividirse, consecuentemente, en función del tiempo (corto, medio y largo plazo), en función del espacio (áreas, niveles, secciones, zonas geográficas, etc.) y/o por el valor comercial (calidad, densidad económica de los productos, primarios, secundarios, etc.).

3.2.5. Horizontes de planificación

En función del nivel de precisión de los datos y de la escala espacial de los períodos de duración del plan minero, éste se descompone en diferentes horizontes de planificación minera, los cuales constituyen una herramienta para tratar la incertidumbre dentro del proceso minero. Estos son (Vargas, 2011):

- **Largo Plazo:** La planificación a largo plazo define una envolvente económica en función de las reservas mineras disponibles, sobre la cual se trabajará para establecer un plan minero anual, estableciendo el tamaño de la mina, el método de extracción, capacidad de producción, secuencia de explotación, y el perfil de leyes de corte. Se incorporan variables más bien promedio y generales, debido a que el tamaño del problema a resolver, no permite un mayor nivel de detalle, considerando las heurísticas utilizadas actualmente.
- **Mediano Plazo:** La planificación a mediano plazo, por lo general, abarca un horizonte de tiempo trianual y anual, y produce planes de producción orientados a obtener las metas productivas en el corto plazo definidas por el largo plazo. Permite asegurar el presupuesto de operaciones y retroalimentar la planificación de largo plazo.
- **Corto Plazo:** El horizonte de tiempo de esta planificación es diario, semanal, mensual y trimestral. Es en esta instancia de planificación donde se deben analizar los recursos utilizados en la operación de la mina. Debe recopilar la información operacional a modo de retroalimentar la planificación de mediano plazo.

3.2.6. Metodologías de planificación a largo plazo

La bibliografía existente acerca de los diferentes métodos de optimización para solucionar el problema de la planificación a largo plazo, que abarca tanto el desarrollo del *pit* final como el programa de producción, presenta al menos dos enfoques distintos (Castillo, 2009):

3.2.6.1. Primer enfoque: Metodología tradicional

Primeramente se determina el límite del *pit* final (a) y posteriormente se obtiene el secuenciamiento de bloques (b).

(a) Determinación del *pit* final

Los componentes de análisis preliminar antes de proceder al diseño del *pit* final consisten en lo siguiente:

- ✓ Un modelo de bloques, donde cada bloque posee información respecto a volumen y leyes del elemento con valor económico.
- ✓ Un modelo geométrico del depósito, con información basada en requerimientos geotécnicos como: ángulos de talud requeridos, ancho minero mínimo y el tamaño mínimo de la base del *pit*.

Una vez definidos los parámetros preliminares, el *pit* final debe representar el límite que maximice el Valor Presente Neto del proyecto. El *pit* final de una mina está definido para ser un contorno, el cuál es el resultado de la extracción de un volumen de material que suministra el máximo beneficio y satisface los requerimientos operacionales, dicho contorno debe ser finalmente suavizado.

Varios métodos están disponibles para determinar y optimizar el diseño del *pit* final, entre ellos encontramos (Jofré, 2012):

- **Método Manual:** Para realizar el diseño manual, es importante entender la diferencia entre la razón de extracción total del *pit* y la razón de extracción marginal del último bloque de mineral del banco. Para la optimización en este caso, la tasa de extracción total es irrelevante, pero el índice marginal indica la razón entre el volumen o tonelaje de estéril sobre el volumen de mineral que debe ser movido para tener acceso al nivel o banco siguiente. El diseño del método manual debe estar hecho sobre la base de un gran número de secciones verticales, las cuales, con la razón estéril mineral se puede ver si el conjunto de bloques de mineral son capaces de pagar la extracción de estéril que se encuentra sobre ellos. Con esto se establecen los límites del *pit* en una cota, luego se desciende y repite el procedimiento anterior hasta encontrar los límites del *pit* de la nueva cota. Después se suaviza el *pit* y finalmente se hace operativo agregando rampas de acceso. En caso de alta variación de leyes el problema puede tornarse muy complejo. Este método solo se aproxima al óptimo pero no lo logra.
- **Método de Conos Flotantes:** Este método fue desarrollado por Kennecott Copper Corporation durante los años 60. La técnica consiste en una rutina que pregunta por la conveniencia de extraer un bloque y su respectiva sobrecarga. Para esto, el algoritmo se posiciona sobre cada bloque de valor económico positivo del modelo de bloques y genera un cono invertido, donde la superficie lateral del cono representa el ángulo de talud. Si el beneficio neto del cono es mayor o igual que un beneficio deseado dicho cono se extrae, de lo contrario se deja en su lugar. Existe una versión optimizada de este método llamado algoritmo de Korobov, el cual obtuvo como resultado diseños muy superiores en el aspecto económico que aquellos obtenidos con el algoritmo convencional, sin embargo entrega resultados inferiores a Lerchs-Grossmann ya que en ocasiones se alcanzan resultados erráticos, por lo que se hace importante hacer varias corridas al modelo.
- **Método de Lerchs-Grossmann:** Fue una técnica matemática inutilizada en la práctica hasta la aparición de un programa práctico de optimización llamado Whittle 3-D, el cual fue desarrollado por Jeff Whittle. En la actualidad es el programa más utilizado a lo largo del mundo en optimización de *pits*. El método bidimensional de Lerchs-Grossmann

permite diseñar en una sección vertical la geometría del *pit* que presenta la mayor utilidad neta, en cada sección el resultado es el *pit* óptimo, sin embargo es probable que el *pit* final no lo sea, ya que ese es el resultado del suavizamiento. El método tridimensional representado por Lerchs y Grossman se basó en el método de la teoría de grafos. Tanto el método bidimensional como el tridimensional llegan a resultados similares, siendo ambos métodos difíciles de programar para un ambiente de producción donde existen grandes cantidades de bloques.

(b) Secuenciamiento de bloques

Castillo, (2009), comenta que este enfoque sirvió como un puente entre el problema del *pit* final y el problema del programa de producción ya que a partir de la geometría del *pit* final se van estableciendo los parámetros de avance para el secuenciamiento de explotación que a su vez conlleva a la definición del programa de producción o la planificación operativa. Muchas investigaciones han sido realizadas en torno al tema del secuenciamiento de bloques, sin embargo se hace referencia a las más mencionadas en la literatura:

- Gershon (1987), desarrolla un secuenciamiento heurístico basado en el peso posicional de los bloques, para determinar cuándo un bloque debe ser extraído. El peso posicional de un bloque determina el atractivo de remover el bloque en un punto específico en el tiempo, mientras más alto es el peso más atractivo. El bloque accesible de la fila más alta se extrae, comenzando el proceso donde se determina el peso posicional de los bloques remanentes en el *pit*, esto se repite hasta que todos los bloques en el *pit* final han sido removidos.
- Dowd y Onur (1992), también tienen una solución al problema de la secuencia de extracción de bloques, este algoritmo usa programación dinámica para encontrar la secuencia. El algoritmo determina el bloque que debe ser minado primero, luego determina el bloque siguiente que debe ser extraído examinando todas las alternativas de secuencias posibles dentro de una misma combinación de bloques. Notar que este método sufre un crecimiento exponencial del tiempo de proceso a medida que el número de

bloques aumenta, señalan además que muchas de las secuencias de extracción de bloques pueden ser eliminadas por ser no factibles, reduciendo con esto el espacio de búsqueda.

- El software Whittle utiliza el denominado “Método de Parametrización” para generar una secuencia de extracción. Considera un modelo descontado de beneficios y varían el valor económico de cada bloque (c_i) como $(c_i - \lambda)$ para $\lambda \geq 0$, el incremento de λ da origen a una serie de *pit* anidados que dan salida a dos secuencias de extracción: el “best” que se obtiene de extraer cada *pit* de manera secuencial y el “worst” que se define como la extracción por bancos dentro del último *pit* (ver Figura 9). Estos casos permiten al planificador estimar el rango en que se encuentra la solución al problema.

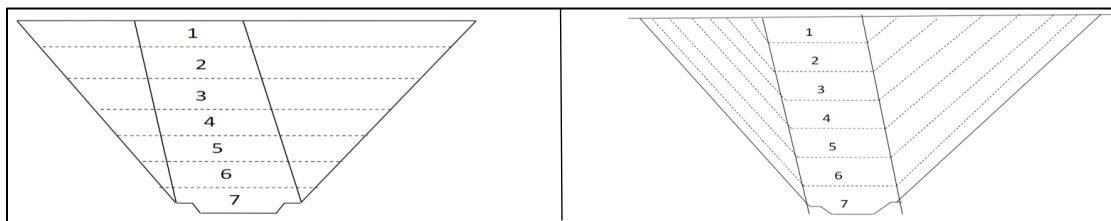


Figura 9. Secuencias de extracción Worst Case (izquierda) y Best Case (derecha).
Fuente: Vargas, (2011)

3.2.6.2. Segundo enfoque: Integración simultánea de *pit* final y secuenciamiento:

El enfoque integral del secuenciamiento a cielo abierto usa una etapa para procesar y determinar simultáneamente el límite del *pit* final y el secuenciamiento de extracción mediante formulaciones matemáticas que determinan el límite económico de los bloques a partir de la secuencia de extracción, sin tomar en cuenta el problema del *pit* final. Este enfoque moderno es el objetivo a futuro para tratar de resolver el problema de la planificación minera. Entre los algoritmos más importantes se pueden nombrar (Castillo, 2009):

- Cacceta y Hill (2003), desarrollaron una programación entera mixta para la planificación minera, presentaron la combinación del modelo económico “Modelo Insumo Producto” (MIP) con el algoritmo de Bifurcación y Planos de Corte, obteniendo algunos resultados para el problema. La estrategia de Bifurcación y Planos de Corte consiste en una combinación de la primera mejor búsqueda, y la primera búsqueda profunda. Ellos usan

su propia caracterización del problema para elegir que variable fijar y de qué manera cruzar el espacio completo de soluciones. También implementan una programación lineal heurística para obtener un mejor límite inferior.

- Ramazan y Dimitrakipoulos (2004), presentan una descripción general de la formulación del problema de secuenciamiento mediante programación entera mixta. Ellos apuntan a maximizar el valor presente neto global del mineral de la mina sujeto a las limitaciones del ángulo de talud, requerimientos de mezcla de leyes, producción de mineral y capacidad de la mina. Proponen reducir el número de variables binarias mediante la separación de los bloques valorados positivamente (los cuales llaman como bloques de “mineral”) de los bloques valorados negativamente (que son denominados “estéril”). Sólo los bloques de mineral son definidos como binarios, mientras que los bloques de estéril siguen como remanentes que permitirán la excavación. Este análisis muestra que este esquema puede reducir significativamente el tiempo de solución.
- Gaupp (2008), señala que Akaike y Dagdelen usan relajación lagrangeana para convertir su formulación de programación entera en uno basado en redes. Esta formulación subyacente del problema tiene una estructura de flujo de redes con una restricción de la capacidad de producción. Ellos integraron esta restricción de la capacidad en la función objetivo para crear un problema de plan de producción de largo plazo que tiene las mismas características del problema del diseño del pit final.

3.2.7. Metodología de planificación a corto y mediano plazo

La planificación a corto y mediano plazo se efectúa posteriormente a la planificación de largo plazo y tiene como información de entrada las fases previamente definidas dentro del *pit* final. La generación de un programa de producción a corto y mediano plazo se realiza actualmente de manera manual utilizando distintos software de diseño que permiten delimitar y cuantificar los volúmenes seleccionados para la extracción período a período por el planificador. La metodología se describe a continuación (Vargas, 2011):

(a) Información de entrada pre-planificación

A continuación se presenta un compendio de información referente al plan de largo plazo y actividades mineras del mediano y corto plazo que se deben obtener en su mayoría para una mejor conceptualización y desarrollo de la planificación a mediano y corto plazo:

- Recopilación de información del plan a largo plazo:
 - ✓ Modelo de bloques, que contiene la información básica y necesaria para realizar el plan minero. La visualización del modelo de bloques permite identificar el comportamiento de las variables geometalúrgicas dentro de un banco, a través de una leyenda de visualización en un software de diseño.
 - ✓ Diseño de fases y bancos involucrados en el período, con el cual se obtiene la ubicación de la rampa de acceso a cada fase y específicamente el punto de ingreso a cada banco.
 - ✓ Triangulaciones o sólidos (volúmenes de material) de fases y bancos disponibles para el período de acuerdo al plan de largo plazo.
 - ✓ KPI (generalizados) mina y planta, para obtener la capacidad de carga y alimentación a la planta de procesamiento.
- Recopilación de información a mediano y corto plazo:
 - ✓ Modelo de bloques actualizados con la información de los pozos de voladura y mapeos geológicos.
 - ✓ Definición de cortes, que corresponden a los volúmenes específicos a ser extraídos desde cada banco período a período.

- ✓ Secuencia de perforación del banco (diseños de perforación). Si bien no es un parámetro de entrada directo para el plan de extracción, sí debe ser considerado en los desarrollos de la mina, ya que se debe generar los espacios para los patios de perforación y el camino de servicios que necesita este proceso.
- ✓ Planificación de las operaciones de soporte de mina
- ✓ KPI (reales) mina y planta.

(b) Desarrollo de la planificación a corto y mediano plazo

El procedimiento se efectúa mediante una metodología manual iterativa, en la cual el planificador realiza cortes en los bancos de explotación, definidos previamente en el proceso de planificación a largo plazo, y consta de los siguientes pasos:

- ✓ Visualización del modelo de bloques para identificar sectores y trabajos de desarrollo a realizar para acceder a zonas de interés, donde las mismas corresponden fundamentalmente a las de mayor ley del material asociado al negocio de cada faena minera.
- ✓ Se despliega la triangulación por banco a incluir en la planificación.
- ✓ Se selecciona el volumen a extraer en cada banco por período.

Finalmente, Vargas, (2011), menciona que al construir estos sólidos o bloques de extracción, el planificador minero debe tener en cuenta los equipos de carguío de los que dispone la faena minera y debe asegurar la extracción en cada período del volumen requerido para saturar la planta de procesamiento. Además de lo anterior, debe procurar cumplir con el movimiento mina que garantice la remoción de estéril/mena establecida por el plan a largo plazo para el horizonte temporal a corto plazo que se está planificando y asegurar el cumplimiento de las restricciones geometalúrgicas impuestas por el área de procesamiento para cada período. Este

último ítem genera la necesidad de que el planificador minero a corto plazo realice múltiples ensayos iterativos que le permitan encontrar los cortes o polígonos de extracción que período a período cumplan con todas las restricciones establecidas.

3.2.8. Problemática de contar únicamente con la planificación a largo plazo

Cuando se planifica a largo plazo se trabaja principalmente con grandes volúmenes y promedios generales de tenor en el macizo rocoso que definen una secuencia y geometría macro de extracción, por ello, al momento de ejecutar las operaciones mineras diarias se presentan inconvenientes de avance en caso de variaciones mineralógicas en puntos específicos del terreno. Entre los principales inconvenientes se pueden nombrar (Vargas, 2011):

- ✓ Incumplimiento de restricciones geometalúrgicas, debido a que el nivel de agregación de bloques con el que se calcula el plan a largo plazo donde por cada fase se cumplen las restricciones, no garantiza que período a período en el mediano y particularmente en el corto plazo se puedan respetar.
- ✓ Alto nivel de remanejo de material, desencadenado por la imposibilidad de cumplir con las restricciones geometalúrgicas debido a que el perfil de equipos con el que se planificó el largo plazo es concebido para una operación masiva, que en el corto plazo enfrenta a una realidad selectiva. Esto desencadena una disminución en la productividad de equipos con implicancia directa en el costo de la operación minera.

Vargas, (2011), concluye que con lo dicho previamente se evidencia la importancia de la planificación a corto plazo, ya que con esta planificación se busca definir un avance de explotación diaria teniendo en cuenta la mayoría de las variantes que se puedan presentar.

3.2.9. Parámetros a considerar en la planificación a corto y mediano

El proceso de planificación a corto y mediano plazo debe materializar la secuencia de extracción considerando variables que no fueron integradas en la planificación a largo plazo y por supuesto, manteniendo en consideración las variables ya integradas o definidas. A continuación se mencionan los parámetros principalmente considerados (Vargas, 2011):

- ✓ Factores operacionales
- ✓ Diseño de fases
- ✓ Restricciones en capacidad
- ✓ Movimiento de mina
- ✓ Procesamiento de planta
- ✓ Pilas de almacenamiento
- ✓ Zonas de acceso
- ✓ Restricciones de mezcla de bloques
- ✓ Relación estéril/mena
- ✓ Relación estéril/mena límite
- ✓ Indicadores claves de rendimiento o por sus siglas en inglés *Key Performance Indicator* (KPI)

3.2.10. Herramientas computacionales de planificación disponibles en el mercado

Existe una gama de empresas con sus respectivas herramientas de optimización para las diferentes necesidades de la industria minera. En la tabla 3 se pueden observar las principales empresas y herramientas que se ofrecen para el área de Planificación Minera (Castillo, 2009):

Tabla 3. Principales Software de planificación minera disponibles en el mercado

Empresa	Software	Herramienta
Gemcom	Gemcom	Whittle
		GEMS
Datamine	Datamine	Datamine Studio
		NPV Scheduler
Maptek	Vulcan	Vulcan
Mintec	MineSight	Strategic Planner
Mincom	Mincom	Mincom MineScape
Simulia	Geovia	MineSched

Fuente: Castillo, (2009)

3.2.10.1. Software para largo y mediano plazo

Hoy en día es posible encontrar una serie de software mineros disponibles y utilizados en la industria que según Vargas (2011), abordan el problema estratégico de la planificación de minas a cielo abierto. Los más conocidos son Whittle y NPV Scheduler, que están orientados a entregar soluciones para el proceso de planificación a largo plazo utilizando el algoritmo de Lerchs & Grossmann para la determinación de envolventes económicas, además disponen de módulos de apoyo para la determinación de fases y construcción de programas de producción operativos para el largo plazo.

Finalmente el software Vulcan, desarrollado por la empresa Maptek, ofrece dos módulos que permiten abordar el problema de largo plazo, estos corresponden al de "Planificación manual", que se ejecuta interactivamente seleccionando las triangulaciones en pantalla o usando la convención de nombres de los bloques de reserva, y el de "Planificación optimizada" cuya función objetivo puede ser el VAN, o puede estar centrada en maximizar o minimizar un parámetro en particular.

3.2.10.2. Software para corto plazo

Además de abordar el problema del largo plazo, Vargas (2011) señala que algunos *software* disponibles en el mercado permiten abordar en específico el corto plazo. Dentro de estos se encuentra Vulcan, que en su módulo IDS (Diseño Interactivo de Planificación) permite al usuario digitalizar un polígono para crear macro-bloques de reservas y planificarlos interactivamente. El polígono puede ser modificado y re-planificado con el fin de asociarle un valor particular de tonelaje, ley, o alguna variable específica que se quiera adicionar, además su módulo de "Planificación manual", también puede ser utilizado para un horizonte temporal de corto plazo.

Por otro lado, se encuentra MineSched, el cual tiene como base la planificación manual y que por lo tanto no optimiza. Esta herramienta permite definir en un solo ejercicio de programación períodos cortos que progresen a períodos largos en el futuro dentro de un

horizonte temporal definido. El *software* permite que el usuario fije objetivos múltiples, dadas las restricciones y prioridades definidas por el planificador, el programa elegirá qué bloques minar buscando el objetivo, además incluye la funcionalidad de mezcla pero asociada a leyes de la especie de valor y no a litologías. Este programa genera informes con tonelaje de producción y leyes medias obtenidas.

3.2.11. Problemática de los *software* para planificación a corto y mediano plazo

Vargas, (2011) expresa que existe una escasez de herramientas de planificación a corto y mediano plazo que consideren efectivamente un compendio de variables que representen la actividad minera con un adecuado nivel de detalle, por ejemplo, sería ideal que aquellos *software* de planificación consideraran restricciones operacionales, mezclas de minerales con diferentes propiedades mineralógicas y sean capaces de generar soluciones coherentes y operacionales en tiempos razonables.

CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO

4.1. Tipo de investigación

Es una investigación exploratoria y explicativa. Es exploratoria porque se analiza un problema de planificación que concretamente no tiene un método preciso de resolución, sino que se deja en manos de la iteración para la optimización del plan a corto y mediano plazo. También es explicativa porque no sólo se persigue describir la problemática de la planificación, sino que se intentará encontrar y puntualizar las variables con mayor incidencia de afectación a la hora de una planificación a corto y mediano plazo.

4.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es no experimental-transversal. Es no experimental debido a que no se modifican las variables en las cuales se presenta el objeto de estudio al momento de su análisis y es transversal porque se busca establecer una solución posible para un período específico de la planificación operativa.

4.3. Objeto de estudio

El objeto de estudio es la planificación a largo plazo (2017-2021) de la Concesión Minera Choco 10.

4.4. Tareas en función de los objetivos

A continuación se delimitan el conjunto de tareas que se pretenden realizar para alcanzar de forma efectiva los objetivos específicos estipulados.

1. Determinar metas y diseño de la planificación a largo plazo para definición de las bases operativas que delimitan a la planificación de corto y mediano plazo.

- Analizar la propuesta de planificación a largo plazo para la mina Choco 10, Bloque Guasipati-El Callao, para el periodo 2017-2021, del Ingeniero Statzewitch, José.
 - Especificar el modelo geológico de la mina.
 - Establecer las cubicaciones de producción y la capacidad de procesamiento de planta.
 - Definir los frentes de explotación y la geometría de la fosa.
 - Precisar los equipos disponibles con sus tiempos de ciclos y KPI estimados.
 - Puntualizar el avance de explotación por fases temporales.
 - Delimitar la geometría de la(s) escombrera(s) presente(s).
 - Detallar el modelo de la fosa final.
2. Precisar parámetros controlables y no controlables en la planificación a corto y mediano plazo para el establecimiento de los criterios de avance.
- Definir las restricciones en capacidad de producción y procesamiento a escala diaria, semanal y mensual.
 - Limitar las restricciones de mezcla entre bloques geológicos.
 - Fijar la relación estéril/mena mínimas y máximas posibles.
 - Especificar el movimiento de mina involucrado en el manejo de la escombrera y las pilas de almacenamiento.
 - Puntualizar las zonas de acceso, vías fijas y temporales.
 - Detallar lineamientos generales en las operaciones de soporte de mina.
 - Delimitar los indicadores claves de rendimiento (KPI) estimados de la mina.
 - Precisar las variables de voladura necesarias.
 - Concretar un diseño de fases semanal, mensual, trimestral y anual.
3. Establecer un programa de producción diario, semanal, mensual, trimestral y anual.

- Definir la cubicación presente en el bloque geológico a extraer.
- Delimitar la ley mineral promedio del bloque en cuestión.
- Estipular la cubicación de mena y estéril presente en el bloque seleccionado.
- Demarcar la relación de remoción en el bloque estipulado.
- Precisar la cubicación del bloque a extraer como un porcentaje de la capacidad máxima disponible.
- Especificar la cantidad de oro en kilogramos presente en el bloque seleccionado.
- Detallar la cantidad de toneladas de estéril que se necesitan mover si se plantea extraer dicho bloque.
- Puntualizar el porcentaje de oro a extraer en el bloque seleccionado con la meta estipulada para ese periodo.
- Definir la densidad promedio de la secuencia seleccionada.
- Delimitar el porcentaje a extraer de la sección mineral del bloque elegido.
- Estipular el porcentaje a extraer de la sección de estéril del bloque elegido.
- Precisar la cantidad de camiones de emulsión necesarios para detonación del volumen seleccionado.

4. Modelar avances anuales principales en el mediano plazo.

- Generar la topografía de la mina.
- Precisar los perfiles necesarios.
- Definir la altura de los bancos.
- Establecer el ángulo del talud.
- Puntualizar el ancho operativo de los bancos.
- Especificar la configuración de las vías y rampas.
- Crear el diseño de la fosa mediante un software de dibujo asistido.

5. Detallar el diagrama de flujo de la heurística en forma compacta para que se facilite la interpretación de la misma.

- Enumerar los pasos del proceso de planificación.
- Abreviar pasos con palabras o frases cortas y directas.
- Vincular los pasos con jerarquías y dependencias entre sí.
- Añadir formas y figuras que circunscriban a los pasos vinculados.
- Realizar corridas de prueba al flujograma para su optimización.
- Definir formato final.

4.5. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

La metodología a realizar será principalmente el diseño mediante iteración asistida por computadora. La iteración servirá en el análisis y avance de los bloques geológicos para definir el resultado que se aproxime al óptimo y establecer así las pautas de secuencia que ahorren tiempo al futuro planificador.

La técnica a utilizar será la observación sistemática no participante, ya que la recolección de datos consistirá en mirar detenidamente las particularidades de los diversos parámetros de estudio, permaneciendo al margen del fenómeno estudiado como un espectador pasivo que se limita a registrar la información que aparece, como ejemplo de los parámetros a estudiar se pueden nombrar: los KPI (indicadores clave de rendimiento), frentes de avance, geometría de fosa o *pit* final, metas de producción, entre otros.

Como instrumentos de recolección y procesamiento de datos para proceder a la elaboración del método previamente descrito se utilizará principalmente la recopilación o documentación bibliográfica e instrumentos computacionales, tales como: CivilCAD Versión Estudiantil, herramientas de Microsoft Office 2013, Datamine Studio 3, entre otros.

4.6. Estructura metodológica

A continuación en la figura 10, se presenta un esquema de cómo sería la metodología a seguir para la realización de este trabajo.

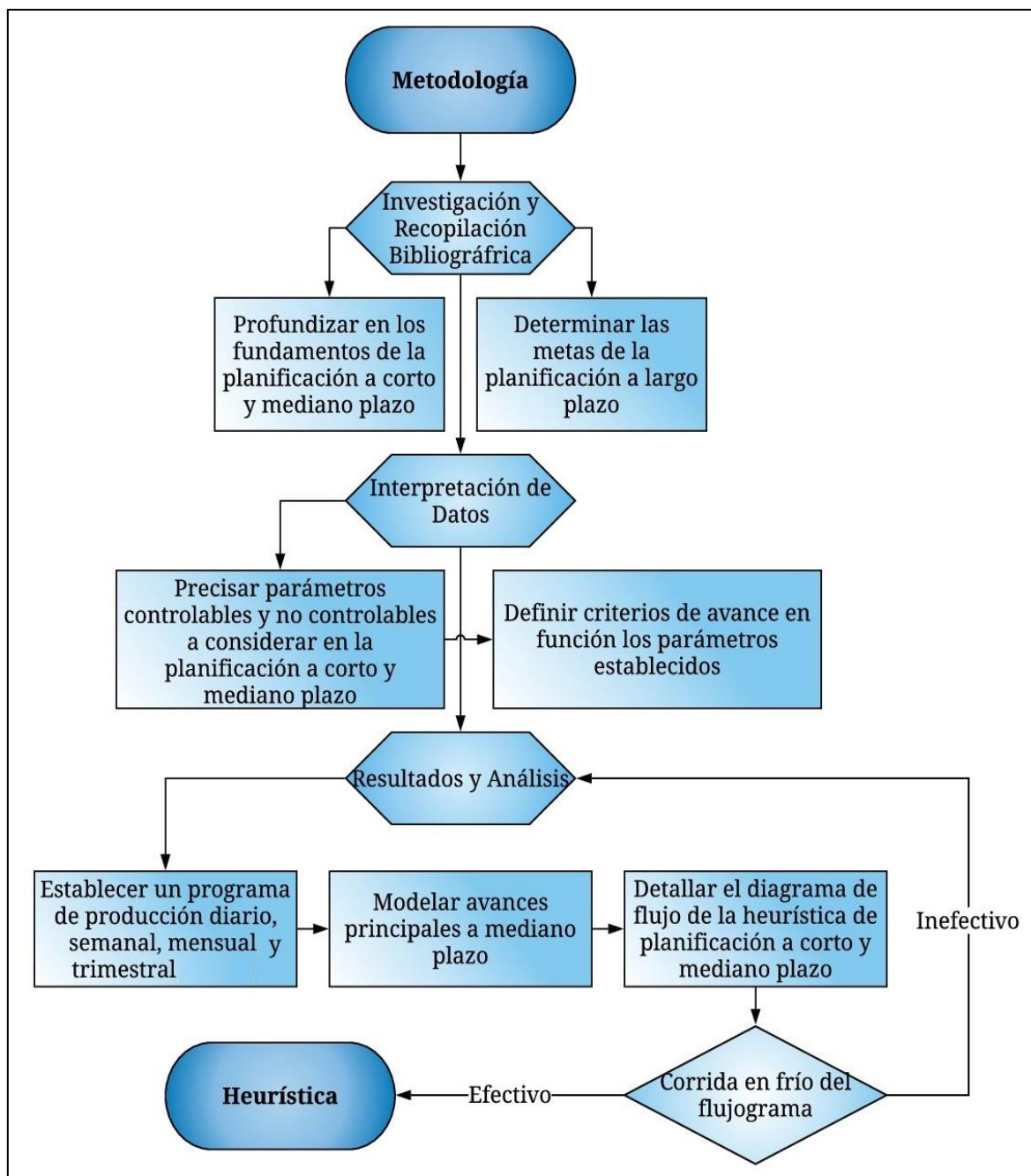


Figura 10. Esquema metodológico
Fuente: Elaboración propia

4.7. Análisis e interpretación de los datos

4.7.1. Planificación estratégica de Choco 10

La Alta Gerencia es la encargada de brindar las directrices principales con las cuales la empresa espera desenvolverse en el mercado a largo plazo, a partir de esos objetivos la planificación operativa tiene que estructurar su metodología de trabajo de forma que logre alcanzar o superar los objetivos propuestos por la planificación estratégica.

4.7.1.1. Recopilación de las reservas minerales

Según la Corporación Venezolana de Minería (CVM), entre los años 2007 y 2010 se recopilan un total de 2.406 pozos que corresponden a 264.795 metros de perforación (promedio de 110 m de profundidad por pozo) con un mallado amplio de 100 m x 50 m y cerrado de 25 m x 25 m, alternando entre perforación por RC y DD en Choco 10, con el fin de proveer la información necesaria para generar el modelo geológico y la clasificación de los recursos, el método de estimación utilizado fue de krigeado ordinario con una ley de corte de 0,5 g/t. Posteriormente, al análisis e interpretación de los datos arrojados por las perforaciones exploratorias se obtienen los valores presentados en la tabla 4, la cual denota la cantidad de mineral esperado en las fosas Rosika y Coacia, donde en líneas generales cuentan con 11,8 Mt y 2,2 Mt de mineral, respectivamente, teniendo unas reservas totales de 14 Mt, por lo que Rosika representa aproximadamente el 85 % del yacimiento mientras que Coacia aporta el 15 % complementario.

Tabla 4. Reservas minerales de las fosas Rosika y Coacia

Parámetro		Mineral		Relación porcentual	Estéril		Relación porcentual
Unidad		m ³	t	%	m ³	T	%
Fosa	Rosika	4.119.442	11.835.801	85 %	15.375.446	41.952.684	88 %
	Coacia	764.179	2.166.951	15 %	2.080.173	5.520.307	12 %
Total		4.883.621	14.002.753	100 %	17.455.619	47.472.991	100 %

Fuente: Statzewitch, (2017) y editado por el autor

4.7.1.2. Planificación estratégica quinquenal

En la tabla 5 se aprecian las metas establecidas por la Alta Gerencia de Choco 10 para un período quinquenal. Se estipulan las metas de producción para cada uno de los cinco años donde la suma total de la mena a extraer para la fosa óptima final es de 12,9 Mt, es decir, un 93 % de las reservas totales, con una ley media de 2,4 g/t y una cantidad de estéril esperado de 51,9 Mt.

Asimismo, en la tabla se indica que hasta el tercer año de la planificación va a existir un aumento progresivo en la capacidad de procesamiento de la planta metalúrgica para luego disminuir en los años complementarios del quinquenio.

La capacidad para el primer año es de 4.395 t/día, para el segundo año se aumenta a 6.496 t/día, a partir del tercer año se tendrá una capacidad de 9.477 t/día, donde finalmente se espera una leve disminución en la capacidad de procesamiento diario a 9.065 t/día para el cuarto y quinto año del quinquenio. Con respecto a la reducción en la capacidad de procesamiento para los últimos dos años no se consigue una explicación detallada en la planificación estratégica sino que solo viene estipulada de esa forma.

Tabla 5. Planificación estratégica quinquenal de Choco 10

Parámetro		Mineral	Ley	Turno	Procesamiento	Oro	Estéril
Unidad	Año	t	g/t	días/año	t/día	Kg	t
Quinquenio	1 ^{er}	1.450.500	2,7	330	4.395	3.887	5.802.000
	2 ^{do}	2.143.658	2,7	330	6.496	5.745	8.574.632
	3 ^{er}	3.127.516	2,2	330	9.477	6.735	12.510.064
	4 ^{to}	3.127.516	2,2	345	9.065	6.735	12.510.064
	5 ^{to}	3.127.516	2,2	345	9.065	6.922	12.510.064
Total		12.976.706				30.024	51.906.824
Promedio anual		2.595.341	2,4			6.005	10.381.365

Fuente: Statzewitch, (2017) y editado por el autor

4.7.1.3. Premisas de la planificación estratégica

4.7.1.3.1. Formato de explotación

El proceso de extracción a cielo abierto en Choco 10 se realiza bajo el método de terrazas, ya que se va avanzando de forma unidireccional en una cota o panel determinado a medida que se va descendiendo en la fosa.

Los primeros años de la explotación se pretenden realizar mediante el método extractivo asociado a una relación de remoción (RR) en aumento visible o denominado también “*best case*” en la figura 9, el cual busca perfilar los taludes de la fosa con ángulos muy cercanos al ángulo de fosa final en conjunto con el seguimiento perenne de la mineralización, ya que todo ello permite tener una tasa de remoción muy baja durante las primeras etapas del quinquenio y así optimizar las ganancias para que los accionista recuperen rápidamente su inversión.

A mediano plazo se requiere tener un formato de extracción asociado a una relación de remoción media, donde los taludes de la fosa persiguen un ángulo más agudo que el ángulo de fosa final, por lo que al comparar la tasa de remoción asociada al “*best case*” con el formato de relación media, ésta habría de aumentar pero permaneciendo en un rango relativamente bajo.

Para los años finales del quinquenio se pretende tener un formato de extracción asociado a una relación de remoción en disminución visible o también denominado “*worst case*” en la figura 9, donde el avance sectorial se realiza hasta llegar al lindero delimitado por la fosa final. Mediante este método la relación de remoción tenderá a ser baja en los estadios finales de la explotación, los tenores serán bastante elevados (entre 3 g/t y 4 g/t), y se facilitará asegurar un ancho operativo adecuado para los equipos mineros en el fondo de la fosa.

4.7.1.3.2. Geotecnia

Los parámetros utilizados para el diseño de taludes y fosa final de las fosas de Rosika y Coacia son aquellos mostrados en la tabla 6, la cual denota que la altura de los taludes en cotas superiores a los 180 msnm debe ser de 10 m, mientras para cotas inferiores a dicha cota deben ser de 20 m, el ángulo de talud y ángulo de fosa final es de 55° y 65°, respectivamente. La altura y ángulo de los taludes puede variar según sea el caso.

Tabla 6. Parámetros geotécnicos de la mina

Especificación	Dimensión
Altura del banco por encima del nivel 180	10 m
Altura del banco por debajo del nivel 180	20 m
Ángulo de talud	55°
Ángulo de talud final	65°

Fuente: Statzewitch, (2017)

4.7.1.3.3. Cuadrillas de avance

Para el desarrollo de la explotación se tiene estipulada la conformación de tres cuadrillas generales de avance, las cuales tienen funcionalidades específicas que se complementan entre sí, y se encuentran ubicadas estratégicamente en el campo para conformar el laboreo minero, éstas se van a denominar respectivamente cuadrilla 1, 2 y 3, tal como se puede apreciar en la figura 11, cada una de dichas cuadrillas debe tener el mismo nivel de prioridad.

- Cuadrilla 1: Es la encargada de extraer únicamente el cuerpo mineralizado, y debe trabajar con las siguientes consideraciones:
 - ✓ La dirección de extracción debe ser preferiblemente de oeste a este.
 - ✓ El arranque de mineral debe tender a ser la zona más baja de la explotación.
- Cuadrilla 2: Se encarga netamente de las operaciones de arranque y movilización de estéril, la cual permite tanto destapar las zonas mineralizadas como garantizar los anchos operativos de la mina.

- Cuadrilla 3: Es adjudicada a las operaciones relativas al corto plazo, ya que debe realizar labores de construcción de rampas, canalización de aguas, apertura de nuevas vías, extracción de estéril no programado, perfilado de taludes, entre otros.



Figura 11. Identificación esquemática de las cuadrillas de avance
Fuente: Statzewitch, (2017)

4.7.1.3.4. Corte mínimo y relación de remoción

Estudios económicos y financieros realizados en Choco 10 brindaron las especificaciones de rentabilidad del proyecto de explotación a cielo abierto, donde se estima que para asegurar la tasa interna de retorno de la mina se debe tener presente un corte mínimo o *cut off* de 0,5 g/t y una relación de remoción (RR) inferior a cuatro $\left(\frac{Volumen_{Estéril}}{Volumen_{Mineral}} < 4\right)$.

4.7.1.3.5. Escorrentía

Con la finalidad de mermar aquellos problemas relacionados al deterioro vial, inestabilidad de taludes y disminución de espacios operativos, ocasionados por la alta pluviosidad entre los meses de mayo a agosto, se recomienda que la planificación operativa tenga en cuenta los siguientes lineamientos:

- Mantener como mínimo un panel en un nivel inferior al nivel de explotación para drenar el agua mediante bermas, torrenteras y sumideros a dicho panel.

- Procurar alternar los frentes de extracción, para que en caso de que se anegue un frente se puedan tener otras áreas en explotación, mientras se realice el bombeo, trasvase y manejo final del agua de la zona inundada.

4.7.1.3.6. Índices claves de producción (KPI)

La planificación estratégica define unos parámetros correlativos a los índices claves de producción denominados KPI por sus siglas en inglés, éstos se pueden evidenciar en la tabla 7, donde se denota la utilización de parámetros típicos como la disponibilidad física y el uso de la disponibilidad con valores de 85 % y 80 %, respectivamente, también se define una disminución anual en la disponibilidad física a partir del segundo año del quinquenio con un valor referente de 2 % para solapar a largo plazo el desgaste físico que sufren los equipos después de un año de uso.

Igualmente, se establece un parámetro denominado efectividad que hace alusión al porcentaje de productividad del factor humano en la realización de una actividad específica, por ende, sirve para proyectar el uso efectivo de un operador en un equipo minero que puede variar según el caso, ya sea para la proyección laboral de una retroexcavadora, camión, perforadora, o cualquier otro equipo involucrado en la faena minera. Este parámetro puede definirse matemáticamente como un factor multiplicativo al uso de la disponibilidad para estipular los cálculos de proyección en una forma más realista.

Tabla 7. Índices claves de productividad (KPI) considerados

KPI	Valor
Disponibilidad física	85 %
Uso de la disponibilidad	80 %
Disminución anual de la disponibilidad física	2 %
Efectividad	Varía según equipo

Fuente: Statzewitch (2017) y editado por el autor

4.7.1.3.7. Jornada laboral

La productividad consumada en una jornada laboral está íntimamente asociada a los KPI de la empresa. En la tabla 8 se indica que en teoría por cada jornada laboral o turno se deben trabajar ocho horas, pero en la práctica un operador nunca podrá laborar las ocho horas por múltiples factores, tales como: retrasos en la actividad, averías en el equipo, tiempo de almuerzo o descanso, entre otros. Por ello, a dichas horas teóricas se le aplican los factores KPI principales que son la disponibilidad física y el uso de la disponibilidad para sincerar la jornada a 5,44 horas por turno. Igualmente desde la alta gerencia se especifican que diariamente se necesitarán tres turnos para cumplir con los objetivos estratégicos, dando un total de 16,3 horas por jornada laboral diaria.

Tabla 8. Productividad proyectada por jornada laboral

Parámetro	Unidad	Valor
Horas teóricas por turno	h/turno teórico	8
Disponibilidad física	%	85 %
Uso de la disponibilidad	%	80 %
Horas proyectadas por turno	h/turno	5,4
Número de turnos al día	turno/día	3
Horas proyectadas al día	h/día	16,3
Días de trabajo por mes	día/mes	30
Horas proyectadas al mes	h/mes	490
Horas proyectadas anuales	h/año	5.875

Fuente: Statzewitch (2017) y editado por el autor

4.7.1.3.8. Productividad de la perforación

La actividad de perforación es una de las más exigentes del ciclo minero en cuanto a la precisión requerida y al desgaste físico de los operadores, por ello, para estimar la productividad horaria se conjetura un valor de la efectividad en la operación bastante conservador de 70 % como se observa en la tabla 9. Igualmente se aprecian los datos referenciales del mallado de perforación con abertura de 4,5 m x 4,5 m, profundidad de 11 m y un tamaño de broca de 6,5 pulgadas, también se especifican los datos concernientes a la perforadora Atlas Copco CM 785, la cual cuenta con una potencia efectiva de 19 kW que permite obtener una productividad efectiva horaria y mensual de 19 m/h y 9.302 m/mes, respectivamente, por lo que se solapa completamente el promedio de perforación estimado

por la planificación estratégica de 8.135 m/mes para los dos primeros años de explotación. Seguidamente, al tomar en consideración el volumen de afectación por voladura, el número de perforaciones estimadas mensualmente y una densidad promedio de 2,7 t/m³, se obtiene una productividad diaria estimada en toneladas de 15.411 t/día. Para el desenvolvimiento de las actividades mineras se van a requerir dos perforadoras de este tipo, de las cuales una tiene como finalidad el control del tenor de los bloques de explotación y la otra netamente para perforación de barrenos de voladura.

Tabla 9. Productividad proyectada para la actividad de perforación

Parámetro	Unidad	Valor
Diámetro	6,5	in
Retiro	m	4,5
Espaciamiento	m	4,5
Altura	m	10
Sobreperforación	m	1
Rotación efectiva	rpm	60
Torque efectivo	Nm	3.025
Potencia efectiva	kW	19
Productividad	m/h	28
Efectividad de los perforistas	%	70 %
Productividad horaria proyectada	m/h	19
Productividad diaria proyectada	m/día	310
Productividad mensual proyectada	m/mes	9.302
Perforaciones estimadas al mes	perf/mes	846
Volumen de afectación diario	m ³ /día	5.708
Productividad diaria estimada en toneladas	t/día	15.411

Fuente: Statzewitch (2017) y editado por el autor

4.7.1.3.9. Productividad de los camiones

La producción de los camiones Terex se fija en la tabla 10 a través de datos arrojados por la Alta Gerencia, donde se indica que por lo menos para el primer año del quinquenio se van a requerir cuatro camiones con capacidades de 32 m³ cada uno. La producción se estima en función de una distancia de 2,8 km, que abarca en promedio los frentes de arranque más alejados hasta los patios de almacenamiento de material, asimismo se proyecta que los camiones circulen con velocidades medias de 35 km/h, por lo que al dividir la velocidad

promedio entre la distancia por ciclo se obtiene una cantidad de 4,1 ciclos de acarreo por hora.

Posteriormente, Al multiplicar la cantidad de ciclos realizados en una hora por la capacidad del camión aunado a su factor de carga respectivo se obtiene una producción teórica de 115 m³_b/h, a dicho valor hay que multiplicarlo por la efectividad de la operación la cual se estima que sea del 80 %, consiguiéndose una producción práctica de 92 m³/h. Finalmente, al considerar las horas de trabajo diario con sus factores KPI respectivos, se sincera la producción diaria a 1.502 m³/día.

Tabla 10. Productividad proyectada para los camiones Terex

Parámetro	Unidad	Valor
Capacidad del camión	m ³ /ciclo	35
Distancia por semiciclo	km/semiciclo	2,8
Velocidad promedio	km/h	35
Tiempo de ciclo	min/ciclo	14,6
Cantidad de ciclos por hora	ciclo/h	4,1
Producción volumen suelto por hora teórico	m ³ _s /h teórico	143,8
Factor de carga	%	80 %
Producción volumen banco por hora teórico	m ³ _b /h teórico	115,1
Efectividad	%	80 %
Producción proyectada por camión	m ³ /h	92
Horas al día	h/día	16,3
Productividad diaria proyectada	m ³ /día	1.502
Productividad mensual proyectada	m ³ /mes	45.070
Productividad anual proyectada	m ³ /año	540.840
Camiones requeridos proyectados	unidad	4

Fuente: Statzewitch (2017) y editado por el autor

4.7.1.3.10. Productividad de la retroexcavadora

La producción de la retroexcavadora Komatsu 1250 brindada por la planificación estratégica se puede apreciar en la tabla 11, la cual es calculada a partir de la capacidad del balde de 6,2 m³ y la cantidad de pases por hora que en teoría la maquinaria puede desempeñar (120 pases/h o 2 pases/min), al multiplicar ambos parámetros se obtiene un total de 744 metros cúbicos sueltos por hora (m³_s/h), donde dicho valor se tiene que transformar a metros cúbicos banco

(m^3_b) por medio de un factor de carga asociado al porcentaje de esponjamiento de la mineralización, para así estructurar adecuadamente el plan de extracción de la mina, dando un total de 595 metros cúbicos banco por hora (m^3_b/h) como productividad teórica.

Para sincerar la producción real de la retroexcavadora se debe multiplicar la productividad teórica por un factor asociado a la efectividad de la operación donde en este caso se tiene asignado el valor de 80 %, proyectando como resultado una productividad horaria de 476 m^3/h , obviando de aquí en adelante la nomenclatura banco para esta última producción pero teniendo presente que está en función del volumen banco. Finalmente, al multiplicar la producción horaria de la maquinaria por la cantidad de horas diarias que debe laborar se obtiene una producción total de 7.771 $m^3/día$, teniendo en cuenta que la cantidad de horas laborales por las que se multiplicó ya tienen en consideración los parámetros KPI.

Tabla 11. Productividad proyectada para la retroexcavadora Komatsu 1250

Parámetro	Unidad	Valor
Capacidad de Carga teórica	$m^3/pase$ teórico	6,2
Segundos por pase teórico	s/pase teórico	30
Pases por hora teórico	pases/h teórico	120
Producción volumen suelto por hora teórico	m^3_s/h teórico	744
Factor de carga	%	80 %
Producción volumen banco por hora teórico	m^3_b/h teórico	595
Efectividad	%	80 %
Producción proyectada por hora	m^3/h	476
Horas al día	h/día	16,3
Productividad diaria proyectada	$m^3/día$	7.771
Productividad mensual proyectada	m^3/mes	233.128
Productividad anual proyectada	$m^3/año$	2.797.535

Fuente: Statzewitch (2017) y editado por el autor

Según la planificación operativa la cantidad de equipos disponibles en la mina se resume en: 4 camiones Terex, 1 retroexcavadora Komatsu 1250 y 1 perforadora Atlas Copco 785, donde se aprecia que no se toma en consideración el análisis de productividad de los equipos destinados al soporte de mina, tales como: motoniveladora, tractor, camión cisterna, entre otros, lo cual tiene que ser considerado por la planificación operativa a corto y mediano plazo.

4.7.1.3.11. Pilas de almacenamiento mineral

En los momentos que exista una producción “sobrante” se debe acumular dicho material en las zonas de almacenamiento para que la planta metalúrgica tenga insumos de respaldo en caso de que la operatividad planificada de la mina se vea comprometida por contratiempos.

En la última columna de la tabla 12 se denota que anualmente existe una “sobreproducción” acumulativa de material, este superávit se genera debido a que el proceso productivo de arranque, carga y acarreo se lleva a cabo a un ritmo de producción mayor de lo que puede procesar la planta, por lo tanto, debido al proceso continuo en la producción se genera dicho material “sobrante”.

Se puede apreciar que en los dos primeros años del quinquenio se va a tener un promedio aproximado de 300.000 t anuales para su almacenaje, mientras que en los últimos tres años se incrementa a un promedio cercano a las 600.000 t anuales, dicho aumento se genera como consecuencia de la ampliación en la capacidad de procesamiento de la planta que induce la intensificación en la producción de mina con la obvia introducción de nuevos equipos mineros para lograr las proyecciones futuras.

Tabla 12. Proyección anual de las pilas de almacenamiento

Parámetro		Producción esperada	Procesamiento de planta	Material de almacenamiento	Material de almacenamiento acumulado
Unidad	Año	t	t	t	t
Quinquenio	1 ^{er}	1.450.500	1.213.145	237.355	237.355
	2 ^{do}	2.143.658	1.792.878	350.780	588.135
	3 ^{er}	3.127.516	2.615.741	511.775	1.099.910
	4 ^{to}	3.127.516	2.502.013	625.503	1.725.413
	5 ^{to}	3.127.516	2.502.013	625.503	2.350.917

Fuente: Statzewitch (2017) y editado por el autor

4.7.2. Planificación operativa a largo plazo (quinquenal)

Debido a que el presente trabajo tiene un alcance a corto y mediano plazo se va a analizar únicamente el primer año del quinquenio para posteriormente profundizar en su planificación con detalle trimestral, mensual, semanal y diario.

En líneas generales, la planificación a largo plazo de Choco 10 está estructurada de la siguiente manera: el primero año se encuentra planificado de forma mensual, el segundo año trimestral y los tres últimos años se conciben con carácter anual, definiéndose así un menor nivel de detalle a medida que se avanza temporalmente en la planificación.

4.7.2.1. Interpretación del primer año

4.7.2.1.1. Resumen de la explotación

En la tabla 13 se puede apreciar un resumen de la explotación para el primer año de la planificación a largo plazo. La cantidad de mineral planificado para su extracción alcanza un total de 1.637.650 t, lo que solapa en un 113 % la meta de extracción mineral dispuesta por la planificación estratégica, los parámetros referidos a la cantidad de estéril, oro y material almacenado obtienen porcentajes de 96 %, 84 % y 179 %, respectivamente, donde se aprecia que los dos primeros parámetros (estéril y oro) no alcanzan la meta establecida por la planificación estratégica, mientras que el último parámetro prácticamente la duplica.

Las variables afines a la tasa de remoción y tenor, alcanzadas por la planificación a largo plazo en el primer año fueron respectivamente de 3,4 y 1,9 g/t, las cuales se encuentran dentro del rango de lo económicamente factible estipulado por la gerencia estratégica. La razón por la cual no se obtiene el 100 % de la meta en kilogramos de oro ni el tenor mineral establecido, a pesar de haber superado el porcentaje de extracción mineral es debido a que las actividades de laboreo minero fueron enfocadas en el destape de la mineralización consecuencia de que estaban muy retrasadas, sobre todo en la fosa Coacia.

Tabla 13. Resumen de explotación del primer año del quinquenio

Parámetro		Mineral	Estéril	Oro	Almacenamiento acumulado	RR
Unidad	Mes	t	t	kg	t	t:t
1 ^{er} año	Enero	134.162	470.429	313,79	33.067	3,51
	Febrero	152.943	399.700	200,16	84.915	2,61
	Marzo	109.555	400.150	182,5	93.374	3,65
	Abril	136.018	359.733	237,46	128.296	2,64
	Mayo	149.816	502.800	380,82	177.017	3,36
	Junio	132.078	514.039	256,31	207.999	3,89
	Julio	103.830	463.513	288,62	210.733	4,46
	Agosto	191.255	361.218	318,4	300.893	1,89
	Septiembre	129.248	510.174	293,09	329.045	3,95
	Octubre	141.399	535.463	256,21	369.348	3,79
	Noviembre	140.833	521.034	303,78	409.085	3,70
	Diciembre	116.513	539.068	233,85	424.503	4,63
Total		1.637.650	5.577.321	3.264,99	424.503	
Meta plan estratégico		1.450.500	5.802.000	3.887	237.355	
Porcentaje de la meta		113%	96%	84%	179%	
Promedio Mensual		136.471	464.777	272	35.375	
Relación de remoción		3,41				
Ley g/t		1,99				

Fuente: Statzewitch (2017) y editado por el autor

4.7.2.1.2. Descripción de las secuencias de explotación

La planificación para el primer semestre conduce a las fosas Rosika y Coacia de manera que se ataquen en forma conjunta con excepción del mes de mayo donde Rosika prioriza en las operaciones, la primera fosa restringe sus operaciones entre los bancos 150 m y 195 m, mientras que en la segunda fosa las cotas planificadas abarcan desde el banco 175 m hasta el 195 m, ambas dentro de los paneles especificados en la tabla 14 (ver distribución de los paneles en la figura 2). La directriz principal con relación a la fosa Coacia consta en extraer la mayor cantidad de estéril debido a su retraso en las actividades de destapado del mineral, por ello, para sopesar dicha extracción neta de estéril se busca continuar las labores extractivas en Rosika pretendiendo alcanzar la mayor cantidad de mineral posible y así contrarrestar una elevada relación de remoción. Para este primer semestre se concibe una cantidad de material planificado en Rosika de 1.207.271 m³ y en Coacia de 205.975 m³, al sumar ambas cantidades brindan un total de 1.413.246 m³, lo que muestra que se sobrepasa

en 1 % la capacidad de producción semestral de la retroexcavadora que es de 1.398.768 m³ y en un 31 % la capacidad de producción semestral de la flota que es de 1.081.681 m³. Con respecto a la cantidad de explosivos que se van a requerir se establece un promedio de 10 camiones de emulsión por mes. Casi todo el oro a obtener en el primer semestre proviene de Rosika, cerca del 99 %, consecuencia de las labores de destape en Coacia que brindan mayormente estéril, donde la tasa de remoción y la ley mineral se estima que sea de 3,4 y 1,9 g/t, respectivamente para el semestre.

Tabla 14. Secuencia de explotación del primer trimestre

ENERO					FEBRERO					MARZO				
Fosa	Panel	Banco	Mineral	Estéril	Fosa	Paneles	Banco	Mineral	Estéril	Fosa	Paneles	Banco	Mineral	Estéril
		m s.n.m.	m ³	m ³			m s.n.m.	m ³	m ³			m s.n.m.	m ³	m ³
Rosika	N1	165	2.169	10.361	Rosika	S10	180	370	2.388	Rosika	N4	185	-	4.691
	N1	160	6.986	14.395		S9	180	146	3.894		N3	185	242	16.010
	S12	165	746	6.509		S11	165	8.143	9.766		N2	185	-	15.751
	S12	160	5.395	8.659		S11	160	12.162	11.590		N4	180	427	6.960
	N2	165	8.211	21.644		S10	175	1.077	2.998		N3	180	313	26.635
	N2	160	10.354	24.237		S10	170	2.407	3.439		N2	190	-	1.301
	N3	165	12.300	26.331		N4	195	-	8.795		N5	190	-	1.386
	N10	195	23	4.067		N3	195	-	8.209		N9	190	-	13.913
Coacia	N9	195	-	15.322	Coacia	N4	190	-	8.973	Coacia	N8	190	-	14.309
	S7	195	-	2.392		N3	190	-	12.208		N7	190	-	12.293
	S6	195	-	5.570		N5	190	-	6.929		N2	170	207	10.447
	S5	195	-	3.163		S10	165	12.708	5.256		N3	170	2.157	5.821
	S7	190	-	3.627		S10	160	15.820	4.466		N3	165	6.150	8.777
	S6	190	-	10.548		S6	185	-	13.004		S12	160	5.395	7.216
	S5	190	-	10.694		S5	185	-	20.653		S9	175	281	-
	S4	190	-	4.116		S4	185	-	4.833		S9	170	2.772	4.761
	S7	185	515	5.094		S7	185	515	5.094		S9	165	9.023	5.843
						S5	185	-	20.653		S9	160	9.492	5.560
											N2	165	1.642	7.215
										Coacia	S5	180	89	11.112
											S6	180	529	3.805

Fuente: Statzewitch (2017) y editado por el autor

Igualmente, durante el segundo semestre se pretenden atacar las fosas de forma conjunta, Rosika busca descender hasta la cota 145 m y Coacia planifica llegar hasta el banco 165 m, ambas en función de los paneles especificados en la tabla 15. Este período busca iniciar paulatinamente la extracción mineral en la fosa Coacia mientras que en Rosika se planifica la extracción estéril/mena de forma nivelada, donde en los bancos inferiores se arremete contra las zonas mineralizadas y en los bancos superiores de mayor se extrae principalmente estéril. Para el segundo semestre se admite una cantidad de material planificado en Rosika de 1.125.029 m³ y en Coacia de 344.553 m³, brindando un total de 1.469.582 m³, donde la

capacidad de producción semestral de la retroexcavadora y la flota se exceden en un 5 % y 36 %, respectivamente. Se requiere un promedio de 11 camiones de emulsión por mes. El 90 % de todo el oro a obtener proviene de Rosika debido a que es la fosa de mayor dimensión e importancia económica, se proyecta que la tasa de remoción y la ley mineral sean de 3,2 y 2,1 g/t, respectivamente para el segundo semestre.

Tabla 15. Secuencia de explotación del tercer trimestre

JULIO					AGOSTO					SEPTIEMBRE				
Fosa	Paneles	Banco m s.n.m.	Mineral m3	Estéril m3	Fosa	Paneles	Banco m s.n.m.	Mineral m3	Estéril m3	Fosa	Paneles	Banco m s.n.m.	Mineral m3	Estéril m3
Rosika	N2	150	10.195	22.930	Rosika	N5	175	-	26.933	Rosika	N4	175	-	30.221
	N3	150	14.492	39.644		N6	190	-	21.488		N6	170	4.935	20.716
	N4	150	11.094	41.896		N6	185	-	20.378		N5	170	7.181	28.886
	N9	185	319	28.621		N6	195	-	10.240		N4	170	1.875	40.106
	N8	185	-	32.468		N4	185	-	2.814		N2	155	-	7.601
	N2	160	-	16.158		N4	180	-	4.176		N4	165	6.367	28.574
						N2	155	11.328	11.401		N2	150	10.195	22.930
Coacia	S7	165	1.793	-		S10	155	12.305	3.407	Coacia	N3	145	13.625	22.671
	S5	175	-	6.849		S10	150	12.408	3.182					
	S4	175	-	6.151		S12	150	10.898	7.116		S6	180	-	3.805
						S11	150	13.242	4.349					
						S7	180	660	4.502		S2	185	536	12.023
						S7	175	1.315	7.020					
						S7	170	2.266	10.935		S1	185	421	13.378
						S7	165	199	10.089					

Fuente: Statzewitch (2017) y editado por el autor

4.7.2.1.3. Bloques de producción

- Ubicación e identificación de los bloques

El primer paso antes de comenzar a estructurar un programa de producción consiste en identificar los bloques definidos por la planificación a largo plazo. En la figura 14 se puede observar sobre la topografía y delimitado en coloración azul los bloques de producción concernientes a los meses de enero, febrero y marzo del primer año del quinquenio, donde se definen un total de 40 bloques enumerados desde el 1,41 hasta el 1,80 y circunscritos dentro de sus paneles respectivos.

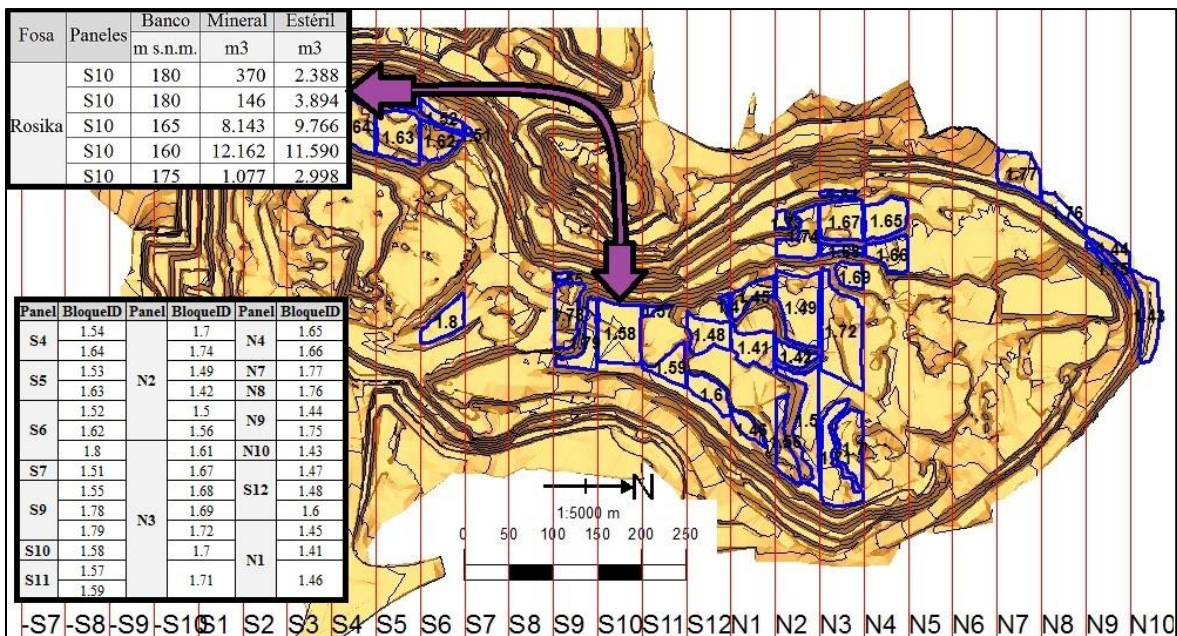


Figura 12. Identificación de los bloques de explotación sobre la topografía (vista en planta)
Fuente: Elaboración propia

Para delimitar cada uno de los bloques sobre la topografía, primeramente, se fija en qué fosa se está trabajando ya que a pesar de que la mayoría de los paneles sólo intersecan una fosa hay zonas como, por ejemplo, el panel “S6” que corta tanto a Coacia como a Rosika, de forma subsiguiente se especifica el panel en el cual se está laborando para seguidamente a partir de la tabla 14 delimitar la cota objetivo, es decir, el banco al cual se desea llegar posterior a una voladura en la zona delimitada, dicha cota objetivo puede ubicarse entre cinco o diez metros por debajo de la cota presente en la topografía actual. Una vez interpretada la cota objetivo se procede a delimitar la cara superior del bloque sobre la topografía de forma que genere un poliedro que englobe aproximadamente el volumen de mineral y estéril estipulado en la tabla.

Por ejemplo, en el borde superior izquierdo de la figura 14 se observa una sección de la tabla 14 que identifica la planificación del panel “S10” en la fosa Rosika para el mes de febrero, cuya interpretación de sus cotas objetivo es señalada con una flecha morada, la cual indica un polígono delimitado en coloración azul que se aproxima a los valores de estéril y mineral requeridos. Cabe destacar, que en la tabla 14 se encuentran planificaciones de cotas objetivo que en la topografía actual no se encuentran presente, posiblemente debido a que fueron

extraídas por un período anterior, por ejemplo, en el panel “S10” se tiene planificado avanzar en los bancos 180 y 175, sin embargo, al analizar dicho requerimiento en la topografía se denota que los bancos no pueden continuar su avance ya que llegaron al límite de la fosa final, por lo que se procede a tomar en consideración únicamente las cotas de la tabla que sean virtualmente posibles de extraer.

- Evaluación y categorización de los bloques

En la tabla 16 se puede apreciar la evaluación volumétrica y la categorización según el tenor de los primeros 20 bloques delimitados en la topografía que van desde el bloque 1,41 hasta el 1,60. En la tabla se encuentra especificada la cantidad de volumen a mover por bloque en función de su categoría, donde se definen tres tipos de categorías estipuladas según el tenor de la zona mineralizada y la acción de acarreo a seguir en caso de que se cumpla con un tenor específico. Por ejemplo, si la ley de un sector mineralizado del bloques es menor a 0,5 gramos de oro por tonelada de material extraído, dicho sector es considerado como estéril por lo que tiene que ser enviado a la escombrera, mientras que si otro subsector del bloque posee un tenor entre 0,5 y 0,7 g/t, el mismo se considera que posee un tenor medio por lo que tiene que ser enviado hacia el almacén, y por último, si un subsector posee un tenor mayor a 0,7 g/t, se considera como lugar de alto tenor y tiene que ser enviado a la planta de procesamiento. Estos 20 bloques cubican un total de 188.487 m³ de material estéril y 82.281 m³ de mineral, donde 11.449 m³ de la mena se adjudican a los centros de acopio y 70.832 m³ corresponden a la planta, el corte promedio para estos sectores que deben ser enviados a almacén y planta es de 0,61 y 1,56 g/t, respectivamente, también se obtiene que la densidad media para el grupo de bloques es de 2,77 t/m³, aproximadamente.

Tabla 16. Evaluación y categorización de bloques, desde el 1,41 al 1,60

BloqueID	Volumen	Toneladas	Tenor	Categoría	Densidad	BloqueID	Volumen	Toneladas	Tenor	Categoría	Densidad
1,41	16.958,21	48.839,66	0,16	Estéril	2,88	1,51	591,53	1.703,59	0,02	Estéril	2,88
	24,64	70,95	0,60	Almacén	2,88		1,60	4,60	0,59	Almacén	2,88
	1.179,07	3.395,71	1,74	Planta	2,88		9,43	27,15	0,71	Planta	2,88
1,42	8.725,35	25.129,00	0,10	Estéril	2,88	1,52	7.610,24	21.746,36	0,00	Estéril	2,86
	256,24	737,98	0,61	Almacén	2,88		29,26	84,26	0,62	Almacén	2,88
	319,51	920,18	1,12	Planta	2,88		183,84	529,47	0,87	Planta	2,88
1,43	18.736,10	34.449,78	-	Estéril	1,84	1,53	5.895,76	16.871,16	-	Estéril	2,86
	-	-	-	Almacén	-		229,78	661,78	0,62	Almacén	2,88
	910,13	1.697,41	0,95	Planta	1,87		962,40	2.750,69	0,85	Planta	2,86

Fuente: Elaboración propia

Igualmente, en la tabla 17 se muestra la evaluación y categorización de los 20 bloques restantes que abarcan desde el bloque 1,61 hasta el 1,80. La densidad promedio para este grupo de bloques se aproxima a los 2,6 t/m³, cuya cantidad de estéril y mena a mover es de 310.488 m³ y 70.458 m³, respectivamente, donde 14.014 m³ de la zona mineralizada corresponden a zona de acopio con un tenor medio de 0,6 g/t y 56.443 m³ le atañen a planta con un tenor próximo a 1,38 g/t.

Tabla 17. Evaluación y categorización de bloques, desde el 1,61 hasta el 1,80

BloqueID	Volumen	Toneladas	Tenor	Categoría	Densidad	BloqueID	Volumen	Toneladas	Tenor	Categoría	Densidad
1,61	2.032,18	3.996,80	0,01	Estéril	1,97	1,71	27.392,61	78.890,72	-	Estéril	2,88
	-	-	-	Almacén	-		-	-	-	Almacén	-
	-	-	-	Planta	-		-	-	-	Planta	-
1,62	14.310,12	40.727,42	0,01	Estéril	2,85	1,72	31.880,67	91.520,70	0,08	Estéril	2,87
	1.655,83	4.635,98	0,59	Almacén	2,80		1.721,36	4.957,52	0,59	Almacén	2,88
	4.330,21	12.251,48	1,15	Planta	2,83		32.172,54	92.218,96	2,97	Planta	2,87
1,63	35.175,02	100.687,77	0,01	Estéril	2,86	1,73	2.172,67	5.217,66	-	Estéril	2,40
	546,04	1.520,03	0,57	Almacén	2,78		-	-	-	Almacén	-
	89,87	258,83	0,80	Planta	2,88		-	-	-	Planta	-

Fuente: Elaboración propia

La cantidad de material obtenido por los 40 bloques estipulados refleja un total de 498.976 m³ de estéril y 152.739 m³ de mineral que arrojan un global de 651.716 m³, por lo que al comparar dichas cantidades con los 513.683 m³ de estéril y 138.766 m³ de mena que dan un global de 652.450 m³ programados por la planificación a largo plazo para el primer trimestre, se observa que la cubicación de los bloques sobre el terreno digital representa un 97 % de la meta planificada para el material estéril, un 110 % para la mineralización y un 99 % del global. Igualmente, se destaca que según la planificación a largo plazo los bloques deben contener una ley y densidad media de 0,9 g/t, y 2,48 t/m³, respectivamente, mientras que los bloques delimitados sobre la topografía poseen un tenor global mayor a 1 g/t y una densidad media de 2,69 t/m³, lo cual se considera que en promedio los bloques definidos se aproximan mucho a los requerimientos concretados por la planificación a largo plazo.

Al apreciar la comparación realizada en el párrafo anterior entre los valores obtenidos por los bloques delimitados sobre la topografía y aquellos estructurados por la planificación a largo plazo, se pueden argumentar los siguientes puntos positivos: como primer aspecto favorable bajo un mismo esquema de planificación, se logra delimitar una menor cantidad de estéril y

una mayor cantidad de mineral a extraer lo que influye en una posible disminución de la tasa RR, seguidamente se aprecia un tenor global mayor al estipulado por el largo plazo lo que puede incidir en una mayor recuperación de gramos de oro, y como último aspecto también es importante que los bloques hayan arrojado una densidad media mayor a la estipulada por el largo plazo ya que puede repercutir en la obtención de una mayor cantidad de toneladas mineralizadas bajo el espectro de un semejante volumen planificado.

Asimismo, vale acotar que se logra delimitar sobre la topografía un conjunto bloques de producción aproximadamente iguales a los diseñados por la planificación a largo plazo por diversos aspectos, entre los que se pueden señalar los siguientes: primeramente, la adquisición de puntos de coordenadas específicos que permitan demarcar correctamente los bloques sobre el terreno fue inaccesible, como segundo aspecto, hay zonas que al analizar sobre la topografía deben evitarse ser abarcadas por el bloque ya que puede influir negativamente en las operaciones mineras de carga y acarreo, y por último como se menciona en párrafos anteriores, existen cotas objetivo de la tabla 14 que se encuentran previamente extraídos sobre la topografía lo que indudablemente hace variar la cubicación previamente planificada.

4.7.2.1.4. Diseños de avance

En la figura 12 se denota el diseño de Rosika para su primer año de explotación con una traza color morado y con la topografía actual delineada en color ocre, también se especifica la zona de estéril con color blanco y la mineralizada con coloración según el tenor, donde las zonas con un tenor menor a 0,5 g/t se encuentran en verde, entre 0,5 y 0,7 g/t en color amarillo y con tenor mayor a 0,7 g/t en color rojo. La imagen izquierda muestra una sección esquemática con orientación W-E, mientras que la imagen derecha se muestra con orientación N-S con una escala horizontal y vertical diferente.

La planificación a largo plazo justifica estos diseños con el criterio de seguir un formato extractivo con tasa de remoción en aumento visible, es decir, inicialmente busca obtener la menor cantidad de estéril a cambio de una alta adquisición de mineral. Si se inspecciona

visualmente la sección esquemática W-E es posible apreciar que la mayor parte de la sub-fosa señalada planifica extraer mineral de alto tenor, donde visualmente solo un tercio de la sub-fosa en el lado Este es material estéril, por lo que a simple vista se puede esperar una RR adecuada y una recuperación de mineral con excelente ley. Por otro lado, la sección N-S muestra unos frentes de ataque dedicados principalmente a la extracción de estéril donde se tocan muy pocas zonas mineralizadas, ello quiere decir que el material neto para el primer año en Rosika no se encuentra únicamente dirigido al minado de zonas con alto tenor, sino que busca un equilibrio extractivo entre las etapas de destapado del mineral y las labores sobre las vetas mineralizadas.

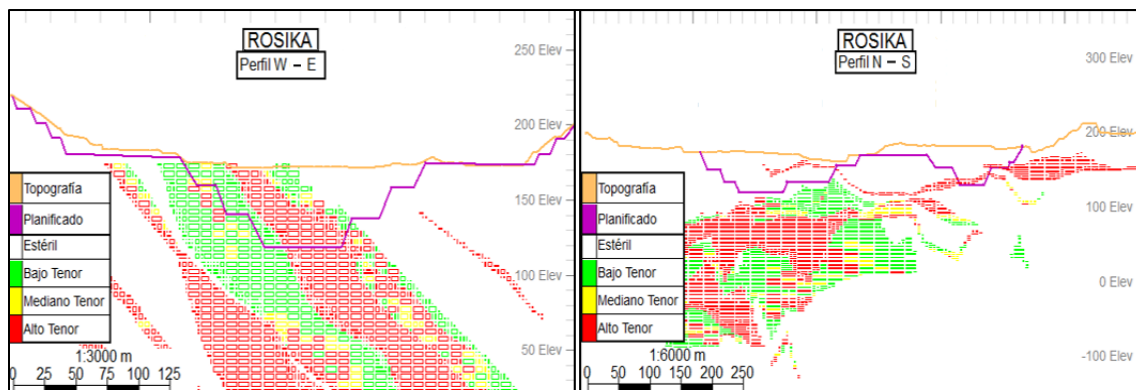


Figura 13. Perfiles esquemáticos de avance para el primer año de la fosa Rosika
Fuente: Statzewitch (2017) y editado por el autor

Con respecto al avance en la fosa Coacia la interpretación es similar a la realizada para Rosika, se puede apreciar el diseño para el primer año de Coacia en la figura 13, tanto en la sección esquemática W-E como en la N-S (ambas con escala vertical y horizontal diferente), se denota por inspección visual que la extracción de material buscar ser nivelada en la relación estéril/mena, donde la extracción mineral está enfocada en la zona central de las sub-fosas mientras que el desmonte de estéril se manifiesta en las zonas perimetrales, igualmente se revela que las partes con menor cota siempre buscan coincidir con las zonas mineralizadas de alto tenor con la finalidad de generar rápidamente mayores ganancias monetarias.

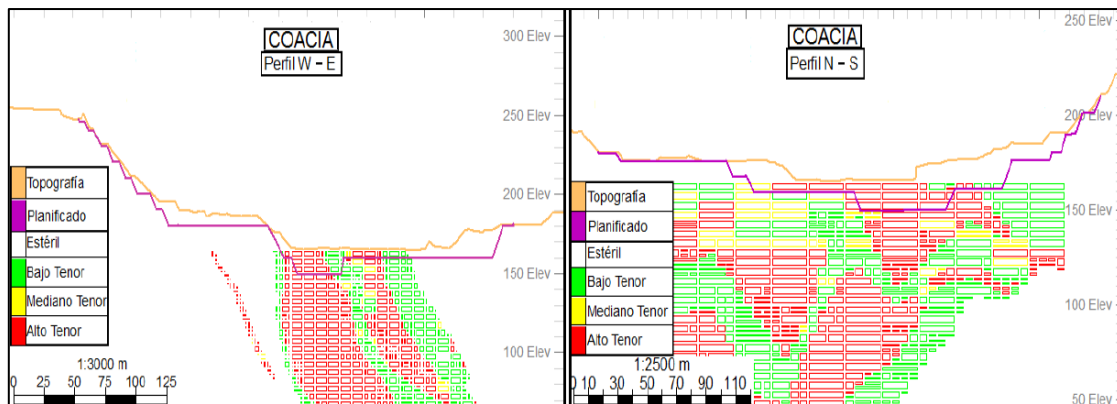


Figura 14. Perfiles esquemáticos de avance para el primer año de la fosa Coacia
Fuente: Statzewitch (2017) y editado por el autor

Se hace hincapié en la planificación a largo plazo que tanto en Rosika como en Coacia el sentido de la explotación se haga preferiblemente de Oeste a Este ya que las vetas tienden a seguir su buzamiento hacia el Este, de esta forma se pretender atacar en primera instancia una zona mineralizada en los sectores Oeste de las fosas para luego proseguir con una sección de estéril en los tramos Este.

CAPÍTULO V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el presente capítulo se detalla el desenvolvimiento de una heurística para la planificación trimestral, mensual, semanal y diaria del primer año del quinquenio, en conjunción con los resultados inherentes a sus criterios, procedimientos de avance, programas de producción y modelado de las fosas.

5.1. Criterios de avance

5.1.1. Factibilidad operativa

Un criterio fundamental que debe ser tomado en consideración para establecer una adecuada planificación es la factibilidad operativa, en este sentido se hace referencia al adecuado diseño y mantenimiento de los anchos operativos, rampas, vías temporales o permanentes, cunetas, bermas, etcétera, donde sus actividades de manutención están íntimamente relacionadas a la planificación de actividades de soporte de mina. La operatividad debe tener prioridad ante cualquier otro parámetro que sirva como directriz en la faena minera, por ejemplo, si se presenta el caso de desarrollar una rampa o vía determinada que implique un aumento en la extracción de estéril o remanejo de material en el corto plazo, debe desarrollarse la viabilidad para mantener la seguridad en las operaciones y asegurar a largo plazo la vida de la mina.

5.1.2. Variables económicas

La relación de remoción (RR), el tenor y el *cut off* son los tres parámetros económicos guías que permiten estipular la selección de los bloques a explotar según su rentabilidad al momento de hacer un programa de producción. En la presente planificación se considera que la extracción de estéril es uno de los aspectos que tiene gran peso en la RR (4:1) debido a la magnitud que representa en la explotación de la fosa, por ello, se conjetura que la RR es el parámetro con mayor incidencia a poner en riesgo la factibilidad de las operaciones al

momento de seleccionar un bloque para su extracción. De esta forma, se obvian los parámetros de tenor y *cut off*, y se hace énfasis en la RR como parámetro depurador al momento de seleccionar un bloque. Asimismo, los tenores y *cut off* de las zonas mineralizadas en la mayoría de los bloques presentan en promedio valores mucho mayores a 0,5 g/t (que representa el *cut off* mínimo global) debido a la naturaleza del yacimiento según el modelo geológico estudiado, por lo que se estima que darle menor peso al uso de estos dos parámetros para la selección de un bloques no influye fuertemente en la planificación. Cabe recalcar, como se menciona al final del capítulo IV, que la presente investigación tiene un enfoque dirigido a sistematizar la planificación dejando a un lado el análisis económico, ya que se establece como axioma que al concretar una planificación operativa coherente se optimiza la rentabilidad de las operaciones.

5.1.3. Índices claves de producción (KPI)

El porcentaje de utilización es un parámetro que resume los KPI en un solo porcentaje, el cual permite obtener las horas efectivas de trabajo y la capacidad de producción de la retroexcavadora, camiones de acarreo y equipos de soporte. Dicho porcentaje se puede definir como la multiplicación de los tres índices claves que son disponibilidad física, uso de la disponibilidad y efectividad, donde el primer índice toma en consideración los tiempos perdidos por reparación y demoras de los equipos que en promedio es del 85 %, el segundo sólo considera el tiempo perdido por demoras promediado en un 80 % y el último índice se le ata a la destreza del operador que varía según el equipo a manejar pero se le puede establecer una media del 80 %. Al multiplicar los índices claves se obtiene un porcentaje de utilización del 54,4 %, lo que implica que de un turno de trabajo de 8 horas sólo se trabaja de forma efectiva la mitad del turno aproximadamente.

Los valores KPI son netamente conceptuales y en su mayoría tomados del estudio realizado por Statzewitch (2017). El desarrollo de la presente investigación no toma en consideración el KPI relacionado con la disponibilidad mecánica, ya que el tiempo perdido asociado al mantenimiento preventivo y predictivo se encuentra incluido en el índice de la disponibilidad física y que se asume una presentación nula de paradas por reparación para el primer trimestre

de la planificación, se entiende que el porcentaje de disponibilidad mecánica es importante para las planificaciones a corto y mediano plazo debido a que influyen directamente en la capacidad productiva de los equipos, sin embargo, se considera que la apreciación del desgaste de equipos y los requerimientos de manutención representan un espectro de estudio que debe ser analizado a detalle con datos de campo para evitar proyecciones de planificación erráticas.

5.2. Procedimientos generales de avance

A continuación se describen un conjunto de pautas que sirven como procedimientos guía al momento de realizar una planificación:

- Establecer la capacidad de producción estimada según los equipos disponibles para el período temporal de planificación, considerando sus KPI respectivos.
- Identificar y delimitar el grupo de bloques que brinden la cantidad de material exigido por la planificación para así se asegure la cantidad de estéril y mineral requerido.
- Asegurar que la ubicación de los bloques seleccionados no obstruyan el paso para la extracción de otro bloque futuro, de caso afirmativo sustituir el bloque seleccionado por otro aledaño a la periferia del sector en cuestión.
- Definir si se requiere la modificación o creación de vías temporales.
- Ordenar grupos de bloques según su mejor combinación de RR.
- Sub-clasificar los bloques por sectores para asegurar el menor desplazamiento posible de la retroexcavadora.
- Extraer cada sub-grupo de bloques de menor a mayor tasa RR.

- Avanzar por bloques de mayor a menor cota para asegurar los espacios operativos y tener siempre un nivel inferior que sirva de sumidero para el posterior bombeo del agua.

5.3. Programa de producción trimestral

Un programa de producción sirve como directriz principal para estructurar los avances de explotación de forma ordenada, rentable y operativamente factible, el cual debe estar configurado en función de horizontes temporales, donde en este caso se considera al horizonte de tiempo trimestral como un período de planificación a mediano plazo. La planificación trimestral tiene como objetivo principal brindar resultados globales que generen una meta para la planificación a corto plazo, por ello y en este caso, resulta indiferente estructurar un orden de extracción de los bloques a través de una jerarquía o prioridad por zonas ya que el global neto de material extraído es el mismo independientemente del orden de avance que se siga.

La planificación se hace de forma asistida por el *software* Datamine Studio 3 mediante su módulo de planificación manual, (obviando el módulo de planificación automatizado por los argumentos mencionados en los capítulos I, II y III), cuyo procedimiento base consiste primeramente en elegir los bloques a explotar, donde por ser un período trimestral se seleccionan los 40 bloques correspondientes. Seguidamente, se delimita el tipo de material a extraer según su categoría, tenor, cantidad y maquinaria de carga delegada para la extracción, donde se eligen todas las categorías (estéril, almacén y planta), el 100 % de extracción de los bloques y la maquinaria de carga establecida por la planificación a largo plazo que corresponde a la retroexcavadora Komatsu 1250. Finalmente, se escoge el equipo de acarreo concerniente con la flota de cuatro camiones Terex y las vías a principales que en promedio sirven para definir los tiempos de ciclo generales.

Una vez configurados en el *software* todos los parámetros concernientes a la planificación trimestral, entre los que se destacan: la cantidad de material a extraer, los KPI, las capacidades de producción de los equipos de carga y acarreo, la capacidad de producción de la planta y

las vías principales, Datamine procede a arrojar un conjunto de datos a través de una tabla de Excel que debe ser depurada por el planificador para utilizar sólo los datos que son realmente necesarios en la estimación.

En la tabla 18 se aprecia la relación entre el período denominado “Trimestre 1” que hace alusión al programa de producción que está en función de los bloques delimitados sobre la topografía, y el período señalado como “Meta Trimestre 1” que representa el programa de producción acotado en el plan quinquenal por medio de la tabla 14. La cantidad de material total planificado (estéril + mena) para el “Trimestre 1” brinda un total de 1.749.655 t, mientras que el total del material planificado para el “Meta Trimestre 1” es de 1.666.939 t, ambas planificaciones deberían arrojar los mismos resultados en la cantidad de material a extraer por el hecho de que son planes conceptuales bajo un mismo esquema de cubicación, sin embargo, esto no sucede debido a que el proceso de ubicación de los bloques sobre la topografía se lleva a cabo de forma aproximada con respecto a los bloques establecidos por el plan quinquenal que están en formato de tabla, lo que consecuentemente genera una diferencia porcentual cercana al 5 % del tonelaje total entre las planificaciones. El motivo por el cual se procede previamente a delimitar el conjunto de bloques sobre la topografía es para poder tener las herramientas suficientes que permitan ejecutar los procesos de planificación a corto plazo, ya que estructurar un plan de avance a detalle sin delimitaciones topográficas podría resultar en grandes imprecisiones.

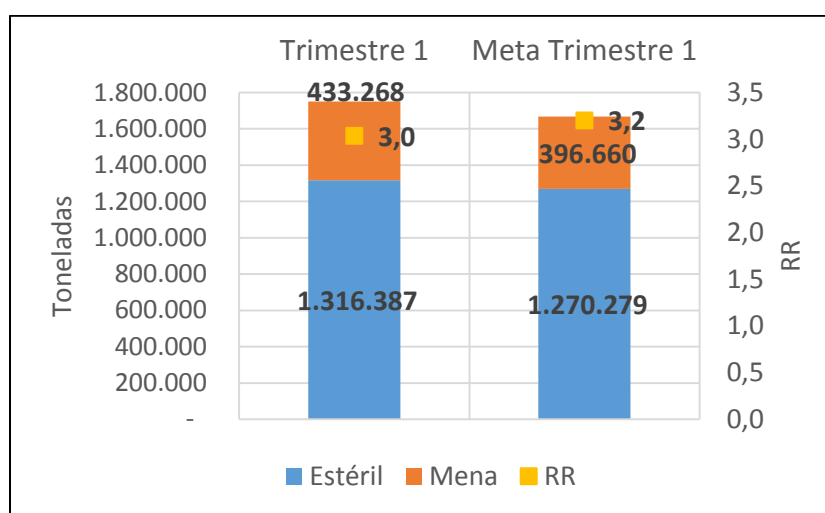
Tabla 18. Relación entre programa planificado y metas del quinquenio

Período	Estéril (t)	Mena (t)	Estéril + Mena	RR
Trimestre 1	1.316.387	433.268	1.749.655	3,0
Meta Trimestre 1	1.270.279	396.660	1.666.939	3,2
Porcentaje de la Meta	104%	109%	105%	95%

Fuente: Elaboración propia

La gráfica 2 presenta de manera visual la relación entre la cantidad de material planificado por el mediano plazo (trimestre 1) y el largo plazo (meta trimestre 1), en la cual se representan tres tipos de datos: la cantidad de estéril planificado en azul, cantidad de mineral en naranja y la relación de remoción en amarillo. El estéril y la mineralización se representan en formato de columnas apiladas, mientras que la RR en forma de puntos. En la gráfica se aprecia que

la altura de las columnas son relativamente equivalentes lo que indica que ambas planificaciones son similares a nivel de tasa de extracción, sin embargo, la cantidad de material planificado para el “Trimestre 1” admite una tonelaje mayor en la cantidad de estéril y mena por el orden del 4 y 9 %, respectivamente, lo que reduce la RR estipulada por el trimestre meta de 3,2 a 3, permitiendo concluir a grandes rasgos que la planificación establecida por el mediano plazo será un poco más rentable que la estipulada por el largo plazo, ya que obtiene una cantidad mayor de mineralización que sobrepasa en 36.608 t a la meta y que contrarresta las 46.108 t de aumento en la extracción de estéril.



Gráfica 2. Cuantificación estéril-mena del programa planificado *versus* metas del trimestre
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 19 se presenta un cuadro comparativo entre los tiempos de ejecución del plan configurado a largo plazo (Meta Trimestre 1), y el plan diseñado a mediano plazo (Trimestre 1), donde el primero se conjetura para desarrollar las actividades mineras dentro de los 90 días que le competen a un período trimestral, teniendo como fecha de inicio el primero de enero hasta culminar las actividades el 31 de marzo, mientras que la segunda planificación se logra desenvolver en un período de 83 días que igualmente inicia el primero de enero pero con fecha de culminación el día 26 de marzo. A partir de esta somera comparación de tiempos de producción se intuye que la planificación a mediano plazo llevada a cabo con un nivel de detalle mayor que el estipulado por el plan a largo plazo permite cerrar la brecha de tiempo requerida para la explotación de una fosa bajo un mismo esquema de capacidad de producción. Al reestructurar los tiempos de avance se establecen nuevas metas para las

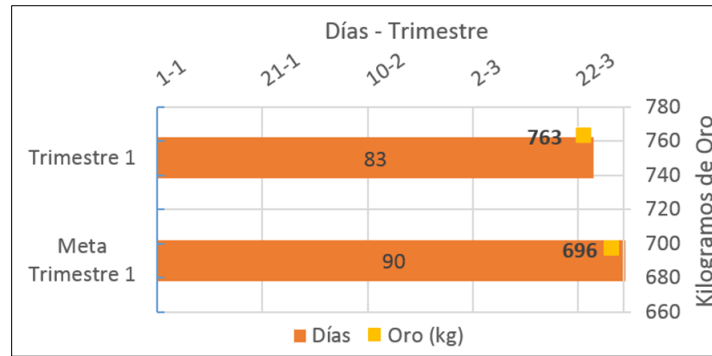
planificaciones a corto plazo que pueden dar cabida a una optimización temporal en la faena minera. De forma subsiguiente, en la tabla 19 se especifican los kilogramos de oro obtenidos por cada programa de producción, donde la Meta Trimestre 1 planifica la obtención de 696 kg y la proyección Trimestre 1 plantea recuperar 763 kg, ambos con un mismo tenor de 1,76 g/t.

Tabla 19. Comparativo de días de extracción y oro acumulado entre planes trimestrales

Plan	Fecha Inicio	Fecha Fin	Días	Tenor (g/t)	Oro (kg)
Meta Trimestre 1	1-1	31-3	90	1,76	696
Trimestre 1	1-1	26-3	83	1,76	763
Porcentaje de la Meta					110%

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3 se presenta un diagrama de Gantt comparativo entre los tiempos de explotación del plan definido a mediano plazo y el plan a largo plazo para el primer trimestre del año, en dicha gráfica se delimita en color naranja y en forma de barras horizontales el tiempo requerido para realizar los procesos extractivos según la planificación en cuestión, donde se aprecia que la planificación del “Trimestre 1” posee un espacio libre entre los días del 26 al 31 de marzo, lo que significa que cuenta con aproximadamente una semana más de trabajo disponible para conseguir los objetivos deseados en comparación con el trimestre meta que estipula la programación hasta el 31 de marzo, esta semana extra sirve como tiempo de contingencia en caso de que se pierdan tiempos relativos a la reparación de equipos, demoras relacionadas con alta intensidad de lluvias o cualquier otro inconveniente que no fue considerado en la presente planificación a mediano plazo. Asimismo, en la gráfica 3 se delimita con puntos amarillos la cantidad de oro extraído según la planificación, donde se acentúa visualmente que el plan a mediano plazo supera en un 10 % la cantidad de oro concertada en la meta, dicho aumento es consecuencia directa de que el plan “Trimestre 1” posee una mayor cantidad de mineralización planificada para su extracción.



Gráfica 3. Comparativo de días de extracción y oro acumulado entre planes trimestrales
Fuente: Elaboración propia

Los KPI representan parámetros claves que permiten modelar la planificación de manera que los tiempos de ejecución obtenidos se acerquen lo más posible a su aplicación real en el campo de trabajo. La tabla 20 muestra el desempeño de los equipos de producción en términos de horas al mismo tiempo que define dos fases o escenarios de la planificación trimestral a mediano plazo, en la primera fase se utiliza un valor de 54,4 % en la utilización de los equipos de carga y acarreo principales, es decir, tanto para la retroexcavadora Komatsu 1250 como para los camiones Terex, mientras que para el segundo escenario de planificación se incrementa la utilización de los equipos de acarreo a 56,4 % y se mantiene en 54,4 % el índice de la retroexcavadora.

Se observa en el escenario inicial que de las 2.160 horas afines al trimestre (90 días) son utilizadas por el equipo Komatsu un total de 2.013, es decir, los 83 días planeados para alcanzar la meta de producción, mientras que al detallar las horas utilizadas por el camión Terex se obtiene un total de 2.235 horas para alcanzar la cuota extractiva, es decir, que para lograr la meta trimestral se debe programar en función de un número mayor de 90 días si se quiere mantener un porcentaje de utilización de 54,4 % para dicho equipo de acarreo. Por ende, se presentan dos soluciones posibles para reestructurar la planificación en un segundo escenario, la primera sería aumentar el período a 94 días que corresponden al equivalente aproximado de las 2.235 horas demandadas por los camiones al mismo tiempo que se mantiene la utilización de los camiones en 54,4 %, y la segunda solución consiste en reconfigurar los parámetros KPI de manera que ofrezcan un porcentaje de utilización de los camiones mayor al 54,4 %. Se considera que la primera solución es contraproducente ya que

la programación a mediano plazo está supeditada bajo un marco de planificación a largo plazo bastante estricto con los tiempos de producción, por lo que se opta por usar la segunda solución, aumentando el porcentaje de efectividad de los camiones en un 3 %, que arroja una utilización del 56,4 %, suficiente para alcanzar las exigencias de producción dentro de los 83 días necesarios por la retroexcavadora.

Tabla 20. Escenarios de planificación y tiempos de uso de los equipos de carga y acarreo

Escenario	Inicial		Optimizado
Parámetros	Komatsu 1250	Terex	Terex
Horas Trimestre	2.160		
Horas Utilizadas	2.013	2.235	2.154
Utilización (%)	54,4	54,4	56,4
Horas Productivas	1.095	1.216	1.216
Horas Perdidas	918	1.019	938
Horas Restantes Disponibles	147	-75	6

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, en el escenario optimizado de la tabla 20 se denota que las “Horas Utilizadas” por la unidad de acarreo supera en 141 horas las necesitadas por la retroexcavadora, el motivo de ello recae en que los camiones implementan mayor tiempo en el recorrido de sus ciclos viales a diferencia de la retroexcavadora que posee ciclos de producción mucho más rápidos, limitada a trabajar en puntos específicos durante largos períodos de tiempo que le confieren menores pérdidas de tiempo en el desplazamiento de un punto “A” a un punto “B”. Las horas productivas del equipo de carga y acarreo representan un total de 1.095 y 1.216, respectivamente, donde dichas horas se obtienen de la multiplicación de las horas utilizadas por el porcentaje de utilización, lo que inmediatamente permite calcular las horas perdidas a través de la suma algebraica de las horas utilizadas menos las horas productivas, dando un total de 918 y 938 horas abarcadas en demoras operativas para la retroexcavadora y el camión de acarreo, respectivamente.

En la tabla 21 se especifica por qué no se tomaron en consideración los tiempos perdidos asociados a la pluviosidad para el primer trimestre del año, donde se aprecia que la tasa de precipitación promedio es de 0,08 mm/h, lo cual representa un valor asociado a época de

sequía. Monjo, R. (2008) reseña una tabla de clasificación de la lluvia según la intensidad media en una hora, en la cual se especifica que las precipitaciones menores a 2 mm/h son consideradas como lluvias de intensidad débil, lo que permite establecer para la presente investigación la premisa de que se considera factible la continuación normal de las operaciones mineras siempre y cuando las precipitaciones sean inferiores a 2 mm/h.

Tabla 21. Precipitaciones promedio del primer trimestre del año

Trimestre 1	Precipitación		Intensidad de Lluvia	Precipitación (mm/h)
	mm/mes	mm/h	Débil	< 2
Enero	70	0,10	Moderada	2 - 15
Febrero	50	0,07	Fuerte	15 - 30
Marzo	50	0,07	Muy fuerte	30 - 60
Media	57	0,08	Torrencial	> 60

Fuente: INAMEH, (2018) y Monjo, R. (2008)

En la tabla 22 se aprecia un cuadro comparativo entre la cantidad de material almacenado o material en *stock* por el trimestre planificado a mediano plazo (Trimestre 1) en contraposición con la cantidad almacenada del plan a largo plazo (Meta Trimestre 1), en la cual se presenta que el material planificado para su almacenaje en el mediano plazo brinda apenas el 51 % de la meta planificada por el largo plazo.

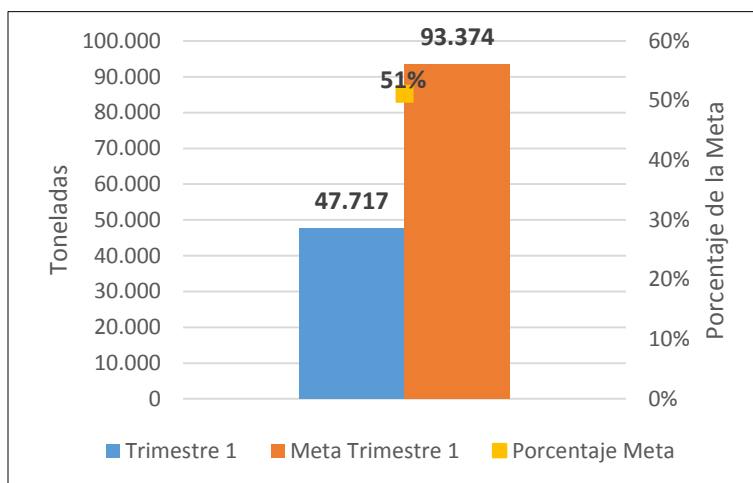
Tabla 22. Comparativo de almacenamiento mineral entre planes trimestrales

Período	Almacén Acum (t)
Trimestre 1	47.717
Meta Trimestre 1	93.374
Porcentaje Meta	51%

Fuente: Elaboración propia

La disparidad asociada al almacenaje entre planes se visualiza fuertemente en la gráfica 4, donde se muestra la cantidad de material en *stock* para el Trimestre 1 en coloración azul y la cantidad referida al Meta Trimestre 1 en color naranja. La meta de almacenamiento representa un total de 93.374 t de mineralización mientras que la cantidad obtenida por el plan a mediano término es de 47.717 t, dicha disparidad tan abrupta se analiza con mayor profundidad en el epígrafe relativo al programa de producción mensual, pero se puede

mencionar de antemano que la cantidad de material almacenado está estrechamente relacionada con la forma de encarar la RR en el avance de los bloques.



Gráfica 4. Comparativo de almacenamiento mineral entre planes trimestrales
Fuente: Elaboración propia

El resultado concerniente a la modificación topográfica para el primer trimestre del quinquenio se encuentra plasmado en la figura 15, la cual está conformada por dos imágenes con vista en planta que sirven como esquema general para especificar la propuesta de explotación correspondiente con los bloques de producción. La imagen superior de la figura 15 representa un modelo topográfico correlativo al estado en el que se encuentran actualmente las fosas Rosika y Coacia, donde también se resalta sobre la topografía y en color morado las zonas afectadas por los bloques de producción que deben ser extraídos en el mediano plazo, inmediatamente, se presenta la imagen inferior que constituye una propuesta de modificación topográfica inherente a los bloques y que a su vez está en función de la factibilidad operativa y la rentabilidad de producción.

Al finalizar el modelo de avance se concluye que la fosa poseedora de gran cantidad de rampas temporales creadas es Rosika en contraste con Coacia que no requiere de ese tipo de remanejo de material, consecuencia de que Rosika representa la principal fuente de recurso mineral y estéril planificado que por ende requiere de mayor cuantía en modificaciones topográficas, asimismo, se intuye que al implementar en campo el formato de avance propuesto disminuya la posibilidad de obtener la totalidad del material proyectado para su

extracción, ya que al momento de hacer operativa la planificación se crean rampas temporales y se obvian porcentajes de terreno planificados en zonas específicas para que los equipos mineros puedan transitar sin inconvenientes de espacios viales.

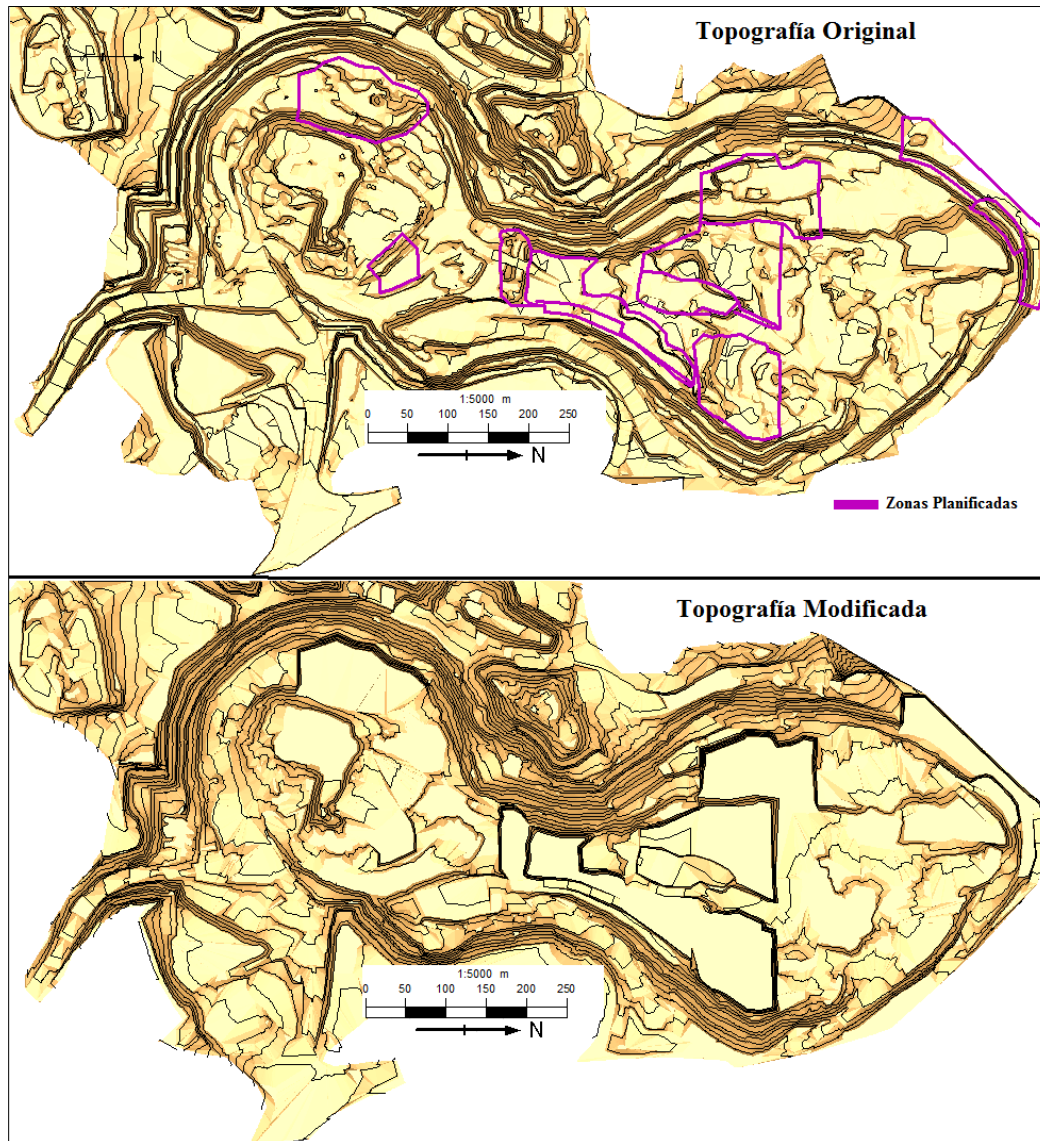


Figura 15. Propuesta de avance para el primer trimestre del año (vistas en planta)
Fuente: Elaboración propia

5.4. Programa de producción mensual

Un programa de producción a nivel mensual considerado en el presente estudio como un horizonte a mediano plazo, exige la definición de un orden en la explotación de los bloques

de producción, donde éstos se encuentren en función de parámetros guías que permitan conseguir un formato extractivo cercano al óptimo. Al momento de otorgar una jerarquía al grupo de bloques el planificador debe elegir cuáles van a ser el conjunto de variables que permitan su depuración de forma efectiva, entre los parámetros principales que sirven como guías para realizar la priorización de los bloques se pueden mencionar los siguientes: la relación de remoción, la cantidad de oro presente por bloque, el tenor medio por bloque, la ubicación del bloque, entre otros.

El desarrollo del presente epígrafe se estructura en dos partes, primeramente se trabaja la planificación mensual según el orden de explotación brindado por el plan a largo plazo para luego comparar sus resultados con las metas mensuales del mismo plan quinquenal, seguidamente, se configura un nuevo orden de explotación en función de la relación de remoción y la ubicación ofrecida por cada bloque para luego comparar sus resultados con los ofrecidos por el orden quinquenal y conjeturar si la metodología de jerarquización propuesta arroja efectos positivos en la planificación.

5.4.1. Explotación de bloques según orden del plan quinquenal

En la tabla 23 se puede apreciar la prioridad otorgada a cada bloque para los tres primeros meses del quinquenio, dicho orden se genera mediante la reconfiguración de la tabla 14 en función de los bloques delimitados sobre la topografía. Asimismo, en la tabla 23 se observa que los bloques están agrupados en tres grupos, donde el grupo “A” delimita aquellos bloques que deben ser extraídos durante el mes de enero, el grupo “B” los bloques relativos al mes de febrero y el “C” los correspondientes con el mes de marzo, a lo largo de la planificación se observa que los grupos no abarcan exactamente la duración del mes convenido sino que se desenvuelven aproximadamente dentro de ese rango temporal.

Tabla 23. Orden de bloques según plan quinquenal para el primer trimestre

Grupo	Bloque	Grupo	Bloque	Grupo	Bloque
A	1,41	B	1,72	C	1,66
	1,45		1,43		1,67
	1,46		1,44		1,68
	1,47		1,51		1,75
	1,48		1,52		1,76
	1,6		1,53		1,77
			1,54		1,74
	1,42		1,62		1,69
			1,64		
	1,49		1,55		1,7
			1,57		
	1,5		1,59		1,78
			1,58		
	1,56		1,63		1,79
			1,61		
	1,71		1,73		1,8
			1,65		

Fuente: Statzewitch (2017) y editado por el autor

La cuantificación de la cantidad de material planificado para su extracción dentro de los tres primeros meses del año por los grupos “A-B-C” se engloba en la tabla 24 donde a su vez se proporcionan las metas del material requerido por los tres primeros meses del plan quinquenal, lo que permite comparar porcentualmente ambas cantidades y así determinar el alcance obtenido por el orden extractivo de los grupos. En este sentido, la tabla muestra que para el mes de enero se obtiene un alcance del 98 % de la meta de estéril, mientras que de la extracción mineral se logra un 90 % de lo planificado, arrojando una tasa RR de 3,8 que supera negativamente en 8 % a la meta de relación de remoción, por ende, se concluye en líneas generales que el orden de los bloques concretados por la planificación a largo plazo para el mes de enero se aproxima de forma muy cercana a las metas del quinquenio.

Tabla 24. Cuantificación estéril-mena entre orden de explotación quinquenal *versus* metas

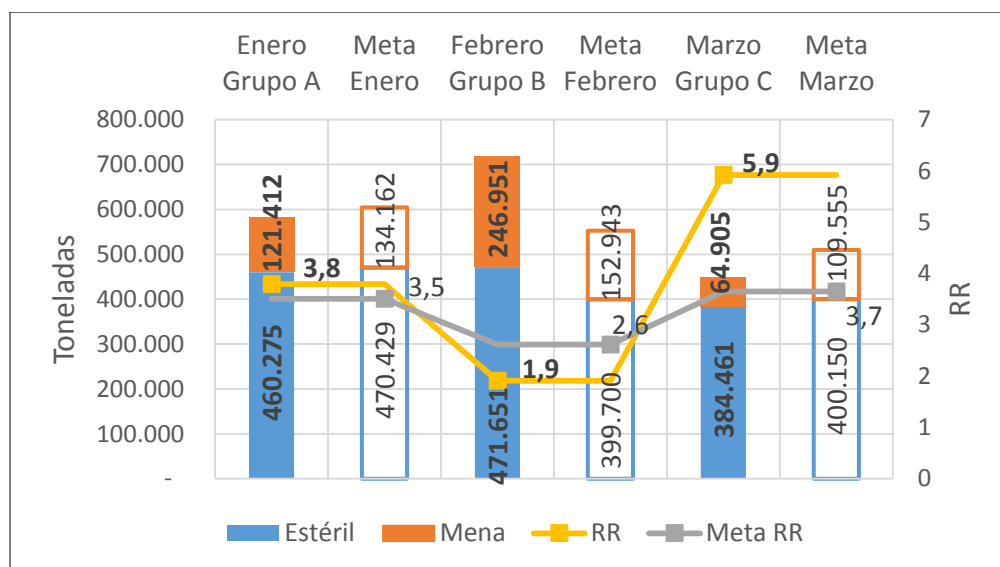
Mes	Estéril (t)	Mena (t)	RR
Enero - Grupo A	460.275	121.412	3,8
Meta Enero	470.429	134.162	3,5
Porcentaje Meta	98%	90%	108%
Febrero - Grupo B	471.651	246.951	1,9
Meta Febrero	399.700	152.943	2,6
Porcentaje Meta	118%	161%	73%
Marzo - Grupo C	384.461	64.905	5,9
Meta Marzo	400.150	109.555	3,7
Porcentaje Meta	96%	59%	162%

Fuente: Elaboración propia

De forma subsiguiente, se examina en la tabla 24 el cúmulo los logros obtenidos para el mes de febrero, donde la cantidad de estéril recuperado sobresale un 18 % de la meta y el total del mineral extraído supera abruptamente en un 61 % el límite establecido, lo que devuelve una tasa RR de 1,9 que favorablemente se encuentra por debajo del objetivo en un 27 %, al consumir el análisis de los datos brindados por el mes de febrero se concluye la existencia de un fuerte desfase por parte de la extracción de mineral que puede ser positivo a corto plazo pero que corre con la probabilidad de afectar negativamente y en igual magnitud a la meta convenida por el largo plazo.

Igualmente, se denotan los datos derivados del mes de marzo donde la extracción de estéril cumple con un 96 % de la meta establecida y la obtención mineral apenas logra un 59 % de la cantidad convenida, generando una RR de 5,9 que supera negativamente en un 62 % lo propuesto por el largo plazo, ergo, se evidencia en marzo el efecto colateral generado por el grupo “B” durante el mes de febrero que encara de manera desproporcionada el proceso de extracción mineral.

En la gráfica 5 se aprecia visualmente la correlación entre los resultados obtenidos por el orden de explotación A-B-C y las metas estipuladas por la planificación a largo plazo, dicho gráfico se compone de dos tipos de columnas apiladas: las rellenas con tonalidades de azul y naranja que representan los datos alcanzados mediante el orden de avance A-B-C, y las columnas sin relleno pero bordeadas con los colores mencionados que simbolizan las metas estipuladas por la planificación a largo plazo. Las porciones de columna que se encuentren ilustradas en color naranja representan la cantidad de mineralización obtenida, mientras que aquellas en azul constituyen la cantidad de estéril conseguida por la planificación en cuestión. Además, se representan dos curvas en la gráfica donde aquella con color amarillo proyecta el comportamiento de la RR para el orden extractivo del grupo A-B-C durante el primer trimestre del año, y la curva con tonalidad grisácea alude a la proyección RR de la meta trimestral, para observar de forma didáctica la gráfica 5 se debe primeramente ubicar el mes a estudiar en el eje horizontal superior y luego comparar las columnas rellenas con las vacías para fijar el logro mensual obtenido.



Gráfica 5. Cuantificación estéril-mena entre orden de explotación quinquenal versus metas
Fuente: Elaboración propia

Al examinar en la gráfica 5 los resultados arrojados para el mes de enero por el grupo “A” se aprecia que la altura de las columnas de estéril y mena son aproximadamente iguales a las columnas meta de su homóloga mensual, lo que significa que en el mes de enero la planificación del grupo busca extraer de forma proporcional una cantidad de estéril cercana a cuatro veces mayor que la cuantía de mineral recuperada, por lo que se trabaja en función de los parámetros límites de relación de remoción propuesta por la planificación estratégica que estipula el escenario óptimo de explotación. Por otro lado, al visualizar en conjunto los resultados obtenidos por los grupos “B” y “C” para los meses de febrero y marzo respectivamente, se aprecia que la altura de las columnas de estéril son similares a sus metas correspondientes, pero al observar la recuperación mineral de “B” se denota una producción que sobrepasa enormemente la meta mensual y afecta directamente el rendimiento del grupo “C” para cumplir con su meta predefinida.

En los procesos de extracción aurífera se debe buscar que al menos mensualmente la tasa de producción desarrolle una línea de tendencia constante en función de su relación de remoción límite, ya que como la cotización del oro no posee un valor invariable en el tiempo al estar atada a un mercado mundial (como le sucede a cualquier otro *commodity*) los costos asociados mes a mes a la producción de estéril deben ser solapados por la recuperación mineral del mes correspondiente, por ejemplo, si en el mes de marzo se obtiene una tasa de

explotación asociada al grupo “C” como la señalada en la gráfica 5 aunado al hecho de una disminución en el índice bursátil de oro, se conlleva a un escenario que genera pérdidas monetarias para el mes en cuestión en caso de que no se tenga material almacenado que permita sostener la sub-producción.

Finalmente, en términos de recuperación estéril/mena el orden de avance asociado al conjunto A-B-C puede presentar problemas para cumplir con las metas establecidas en el largo plazo, esencialmente a partir del mes de marzo, lo que a su vez demuestra que la alta recuperación de mineral en un mes determinado no está directamente asociada a la generación de beneficios si se deslinda de las metas planificadas.

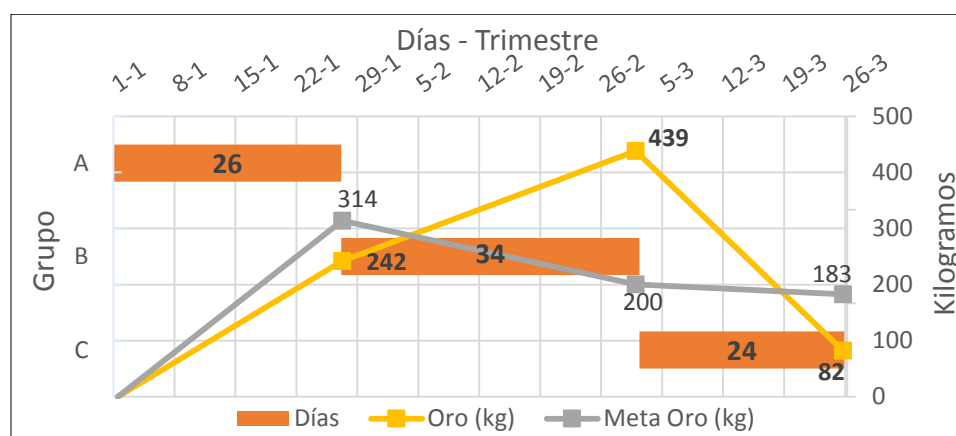
La cantidad de días abarcados por la producción de cada grupo de bloques “A-B-C” se detalla en la tabla 25, en la cual se evidencia que ningún grupo ocupa de forma exacta un mes específico sino que la mayor parte de su desarrollo se ejecuta dentro del mes en cuestión, por ejemplo, las actividades de producción conferidas al grupo A tiene como fecha de inicio el primero de enero hasta la culminación de sus actividades el 27 del mismo mes, de forma subsiguiente el grupo B inicia sus operaciones el 27 de enero hasta finiquitar la extracción de sus bloques el dos de marzo, siendo el grupo de mayor peso operativo por abarcar una porción de los tres meses planificados, y finalmente el grupo C comienza la producción el 2 de marzo hasta culminar su período el 26 del mismo mes. Asimismo, en la tabla 25 se presentan los porcentajes de oro obtenidos por cada grupo en función de su meta respectiva, donde el grupo “A” logra un 77 % de la meta, el “B” sobrepasa más del doble en un 119% a la meta concertada, mientras que el grupo “C” adquiere menos de la mitad del oro convenido, estableciendo un logro del 45 % de su meta.

Tabla 25. Distribución horaria y recuperación de oro según el grupo de avance

Grupo	Inicio	Fin	Horas de Flota	Días	Oro (kg)	Meta Oro (kg)	Porcentaje Meta
A	1-1	27-1	627	26	242	314	77%
B	27-1	2-3	822	34	439	200	219%
C	2-3	26-3	564	23	82	183	45%
Total			2013	83	763	696	

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 6 se visualiza en formato de diagrama de Gantt los plazos de producción de cada grupo de bloques a través de barras horizontales que encierran en color naranja sus rangos de acción temporal, igualmente se proyectan dos curvas, una en coloración amarilla que indica la recuperación mensual en kilogramos de oro captada por cada grupo y otra en color gris que proyecta las metas conferidas por el largo plazo.



Gráfica 6. Distribución diaria y recuperación de oro según el grupo de avance
Fuente: Elaboración propia

En dicha gráfica 6 se observa que la flota conformada por 4 camiones Terex TR60 y una retroexcavadora Komatsu 1250, logra extraer los bloques del grupo “A” en un período de 26 días que arroja una recuperación de oro de 242 kg, inferior a los 314 kg convenidos como meta para esa porción del mes de enero. El área de afectación configurado para el grupo A se delimita en la figura 16 mediante franjas azules, en la cual se observa que los esfuerzos de explotación están únicamente ubicados en la zona sur-central de Rosika, cuyos bloques con mayor cantidad de oro presente son el 1,49 y el 1,48 con 102 y 70 kilogramos respectivamente.

Seguidamente, se denota que la flota de equipos requiere de 34 días para cumplir con las faenas extractivas correspondientes al grupo B dentro del mes de febrero, donde se obtienen 439 kg de oro superando enormemente la meta de 200 kg para el mes. El grupo B tiene como directrices de avance abarcar las zonas Norte, Sur y centro de Rosika, al mismo tiempo que considera la explotación de Coacia en su zona Oeste tal como se delimita por coloración azul en la figura 16, de esta forma se destaca que el área central de Rosika posee un sector

“Lomito” en el bloque 1,72 que cuenta individualmente con 273 kg de oro y que forma parte del programa de producción del grupo B, es por dicho bloque que el mes de febrero distingue tanto en la tasa de oro planificado para su recuperación en comparación con enero y marzo, el segundo bloque con mayor cantidad de oro para el grupo B es el 1,58 con 88 kg, el cual forma parte de una rampa temporal presente en la zona Sur de Rosika que debe eliminarse para ejecutar el avance definido.

Continuando el análisis correlativo entre la gráfica 6 y la figura 16, se observar que la estrategia del grupo C es similar al grupo B en relación a la distribución zonal de los procesos extractivos, ya que concentra los esfuerzos de avance igualmente en zonas Norte, Centro y Sur de Rosika con la diferencia de que se prioriza la explotación del sector Noreste de Coacia. El grupo C representa el conjunto de avance con la menor cantidad de días requeridos por la flota de equipos, la cual necesita de 24 días para culminar los objetivos propuestos por el grupo y así obtener un total de 82 kg de oro que se encuentra aproximadamente por debajo en 100 kg de la meta propuesta por el largo plazo, el bloque con mayor cantidad de oro para el presente grupo de explotación es el 1,79 con 48 kg, el cual forma parte de la rampa temporal que enlaza a ambas fosas y que debe ser desmontada para atacar dicho bloque.

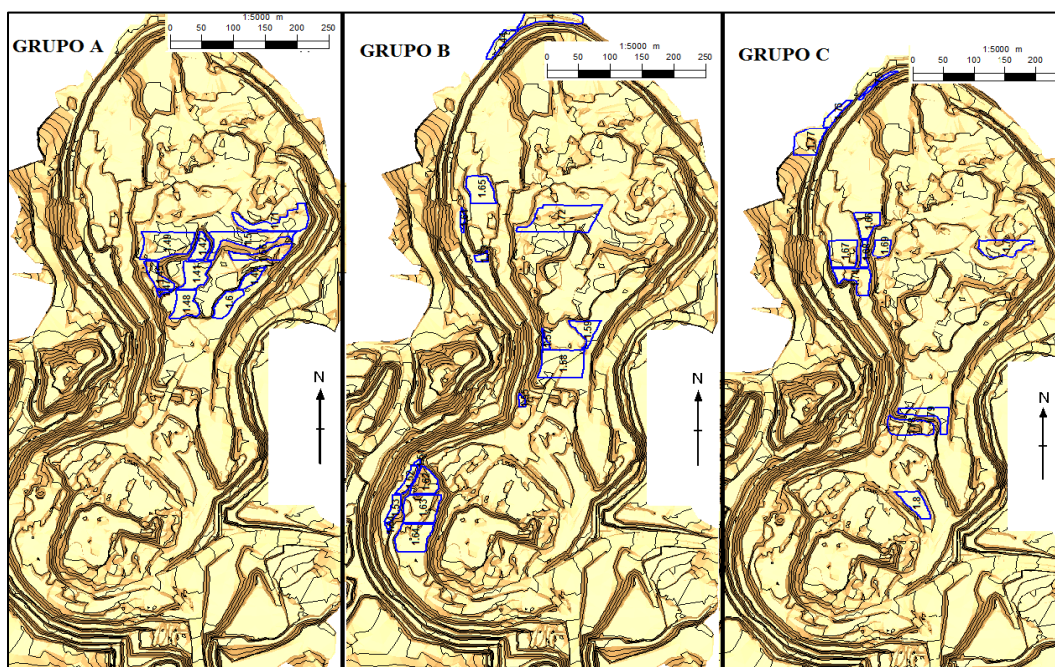


Figura 16. Áreas planificadas a extraer según el grupo de explotación A-B-C
Fuente: Elaboración propia

Los logros acumulados mes a mes por el orden de explotación A-B-C en las pilas de almacenamiento mineral están detallados en la tabla 26, donde se observa que el grupo A apenas logra un 22 % de la meta, mientras que el B sobrepasa en un 23 % a la cuota establecida y el C alcanza aproximadamente la mitad del límite propuesto.

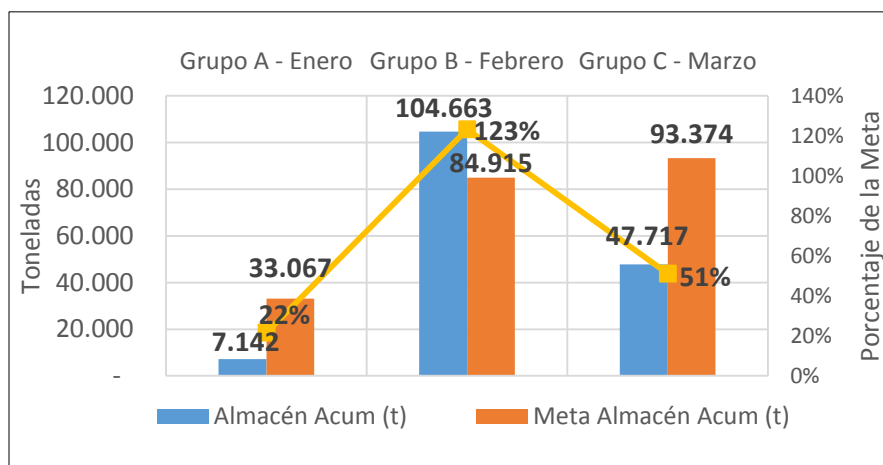
Tabla 26. Almacenamiento acumulado por el orden A-B-C y metas mensuales

Mes	Almacén Acumulado (t)
Grupo A (Enero)	7.142
Meta Enero	33.067
Porcentaje Meta	22%
Grupo B (Finales Enero – Febrero)	104.663
Meta Febrero	84.915
Porcentaje Meta	123%
Grupo C (Marzo)	47.717
Meta Marzo	93.374
Porcentaje Meta	51%

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 7 se representan visualmente los logros del almacenamiento acumulado especificados en la tabla anterior, donde se detalla que el grupo A sólo logra un total de 7.142 t para su almacenamiento en contraposición con las 33.067 t solicitadas, ya que la directriz de avance del grupo se enfoca en extraer una cantidad de mineral cercana al límite solicitado por la planta que es de 114.270 t (según los 26 días abarcados por el grupo A), lo que conlleva a que casi la totalidad del material extraído se envíe a planta y el logro de la meta de almacenamiento sea inalcanzable. De forma contraria el grupo B excede en 19.748 t la cantidad de material solicitado para su almacenamiento durante el mes de febrero, lo que permite sosegar en un 81 % el déficit dejado por el grupo A en el mes de enero. El período abarcado por el grupo B (34 días) induce que la planta demande una cantidad de 149.430 t para su procesamiento, lo que implica que de la totalidad de mena planificada para su extracción se procese el monto mencionado y sólo se almacene un total de 97.521 t, que al sumar con el acumulado de enero arrojen el total recolectado de 104.663 t. Con respecto al acopio relativo al mes de marzo se obtiene que por consecuencia del período extractivo asociado al grupo C (24 días) la planta requiera de 105.480 t para su procesamiento, donde de forma negativa se consigue que el grupo logra extraer una cantidad mineralizada de 64.905

t, por lo que para conseguir el procesamiento reclamado en planta se debe tomar del *stock* un total de 56.946 t que afecta negativamente el total acumulado para dejarlo finalmente con un monto de 47.717 t.



Gráfica 7. Almacenamiento acumulado por el orden A-B-C y metas mensuales
Fuente: Elaboración propia

5.4.2. Explotación de bloques según jerarquización por RR

Para una planificación minera el orden de avance adquiere mucho peso dentro de un horizonte temporal de mediano y corto plazo, ya que al establecer un formato de secuencia extractiva se define la rentabilidad y factibilidad de las operaciones correspondientes, por ejemplo, una planificación a largo plazo puede determinar que su tasa RR se acerca al límite económico lo que justifica una recuperación monetaria definida al final de las actividades, pero al hacer un análisis en la elección de los bloques o sub-bloques de explotación correlativos al mediano o corto plazo respectivamente, se puede concluir que dependiendo del secuenciamiento del conjunto las operaciones pueden resultar beneficiosas o improductivas dentro del estadio temporal del corto y mediano plazo, en otras palabras, si para un mes determinado se toma la decisión de extraer todo el mineral presente, en el mes siguiente se tiene la posibilidad de generar pérdidas monetarias inherentes a la remoción única de estéril. Por ende, resulta imperante que para las planificaciones delimitadas dentro del rango del corto y mediano plazo se ejecute una metodología que permita jerarquizar el orden de los bloques de producción en función de parámetros económicos u operativos para

asegurar proyecciones operativas que sean operacional y económicamente sostenibles en el tiempo.

En el siguiente apartado se especifica una metodología que permite estructurar el orden de un conjunto de bloques de producción en función de la relación de remoción, volumen y ubicación relativa de cada bloque, cuyo esquema de trabajo se ejecuta por medio de combinaciones aleatorias que a su vez se van descatando si no cumplen con los criterios definidos.

Al tener delimitados y evaluados los bloques de producción en el capítulo IV queda como siguiente objetivo estructurar los mismos en grupos de explotación, para ello se procede a generar una macro en Microsoft Excel que permite combinar bloques en grupos de tres, donde el principio de la macro consiste en sumar la cantidad de estéril acumulado por tres bloques aleatorios para luego sumar la cantidad de mineral acumulado por esos mismo tres bloques y finalmente obtener el cociente estéril/mena que arroja la RR del conjunto de bloques seleccionados, si la combinación brinda una RR menor a cuatro y un número mayor a tres días para su explotación se guarda el grupo, si no se vuelve a realizar la búsqueda en la macro con tres nuevos bloques aleatorios. El requerimiento de que la combinación de tres bloques tenga que ser explotada como mínimo en un período de tres días intenta garantizar que la maquinaria de carga permanezca la mayor cantidad de tiempo en un bloque antes de moverse para otro.

Una vez realizadas todas las combinaciones posibles con grupos de tres bloques que estén dentro de los parámetros condicionantes, la macro llega a un punto que no puede mezclar más bloques porque ninguno de los restantes cumplen con las condiciones mencionadas, en esta etapa se proceden a mezclar los bloques “sobrantes” con los grupos ya conformados de forma manual, tomando como directriz que la combinación se realice sólo con aquellos grupos conformados que tengan una RR menor o igual a 3,5.

Una vez conformados todos los grupos se procede a hacer una inspección visual de la agrupación de los bloques sobre la topografía, si se observa que hay un bloque con tonelaje

inferior a 5.000 t y con un radio de separación mayor a 500 m del resto de su grupo de bloques, el mismo se extrae del grupo original y se traspasa a otro grupo de bloques que esté dentro del radio mencionado y que aporte una nueva RR inferior o igual a 4. Este último criterio de inspección visual se realiza para evitar tener bloques pequeños muy separados de sus bloques homólogos y así evitar el traslado excesivo de la retroexcavadora.

De forma subsiguiente se procede a realizar la jerarquización de los grupos conformados, para ello se toman dos criterios en consideración, el primero y de mayor peso es el atribuido a la operatividad en el secuenciamiento de los bloques y el segundo es el concerniente a la relación de remoción de cada grupo. Primeramente, se ordena el conjunto de grupos en función de la RR de forma ascendente, y posteriormente se depura dicho orden brindando mayor jerarquía a los grupos que deben ser explotados primero para asegurar la factibilidad de las operaciones mineras en el campo. Para definir si un grupo de bloques tiene prioridad operativa se realiza una inspección visual de cada sub-bloque en la topografía y se observa que los diversos accesos viales a otros bloques aledaños no sean obstruidos por la explotación del sub-bloque elegido, de caso afirmativo se desplaza a una posición inferior en la tabla jerárquica de explotación del grupo de bloques.

La tabla 27 muestra el resultado de la metodología mencionada para la estructuración de los bloques en grupos de explotación, en la misma se aprecia la conformación de 9 grupos, los cuales pueden tener combinaciones de tres a siete bloques, cada grupo se nombra con las iniciales “GB” (Grupo de Bloques) y su numeración correspondiente, los grupos están ordenados jerárquicamente según su preferencia de explotación de mayor a menor prioridad. Igualmente, se aprecia que el tonelaje promedio por cada grupo de bloques es cercano a 195.000 t, lo que implica que a una tasa de extracción de 15.700 t/día se requieren en promedio 2 semanas por cada grupo de bloques, aproximadamente. Al sumar el tonelaje de todos los grupos de explotación se obtiene un total cercano a 1.750.000 t, por lo que al considerar el ritmo de explotación mencionado se requieren aproximadamente 111 días para la explotación de los 9 grupos de bloques, sin embargo, cabe destacar que dicho ritmo de explotación es proyectado para una distancia de acarreo de 2,8 km por cada semi-ciclo, por

lo que la tasa de explotación puede variar según la distancia, donde mientras menor sea la distancia de acarreo la tasa de extracción de los bloques tiende a ser mayor.

Tabla 27. Agrupación y jerarquización de bloques

Grupo	Bloques							RR	Toneladas	Días
GB-1	1,62	1,52	1,51					3,66	81.710	5
GB-2	1,45	1,47	1,71					3,48	122.424	8
GB-3	1,49	1,56	1,7					3,98	231.027	15
GB-4	1,72	1,53	1,41	1,42	1,63	1,44	1,75	2,81	410.242	26
GB-5	1,48	1,5	1,6	1,46	4,00	214.562	14			
GB-6	1,55	1,78	1,69	1,68	1,77	3,83	147.857	9		
GB-7	1,79	1,67	1,73	1,74	3,85	172.216	11			
GB-8	1,57	1,59	1,65	1,64	1,54	1,61	3,47	166.077	11	
GB-9	1,58	1,43	1,66	1,8	1,76	1,30	203.540	13		
Media								3,4	194.406	12
Total									1.749.655	111

Fuente: Elaboración propia

Para analizar el alcance obtenido por la jerarquización definida se proceden a comparar los resultados arrojados por el conjunto “GB” en correlación con los datos pautados por el orden quinquenal de los bloques A-B-C. En este sentido, se presenta primeramente la tabla 28 que muestra un comparativo entre la cantidad de estéril, mena y RR consecuente de ambos esquemas de avance para sus meses respectivos. La tabla indica que para el mes de enero se logra explotar desde el GB 1 hasta casi la totalidad del GB 4, los cuales sobrepasan en 21 % la cantidad de estéril planificado por el grupo A y obtienen un 84 % de la mineralización pautada, arrojando una RR de 5,5 que excede en 44 % la tasa conseguida por A. De este modo, se aprecia el alcance del conjunto GB para febrero, cuyos bloques abarcados en este período están dentro del rango de los restantes GB 4 hasta parte del GB 7, esta secuencia logra positivamente estar por debajo en un 6 % de la cantidad de estéril proyectado por el grupo B y consiguen un 71 % de la mena estructurada, lo que le confiere al grupo 4-7 una RR cercana a 3, superando en 53 % la tasa estimada por el grupo B. Finalmente se detalla en la tabla 28 que los bloques abarcados para el mes de marzo están dentro del conjunto de los restantes GB 7 y la totalidad del GB 9, los cuales de forma positiva alcanzan un 82 % del estéril planificado por el grupo C y superan en un 239 % la mineralización concertada, lo que significa que la RR se encuentra por debajo en un 60 % a la tasa especificada por C.

Tabla 28. Comparación RR de grupos GB y ABC

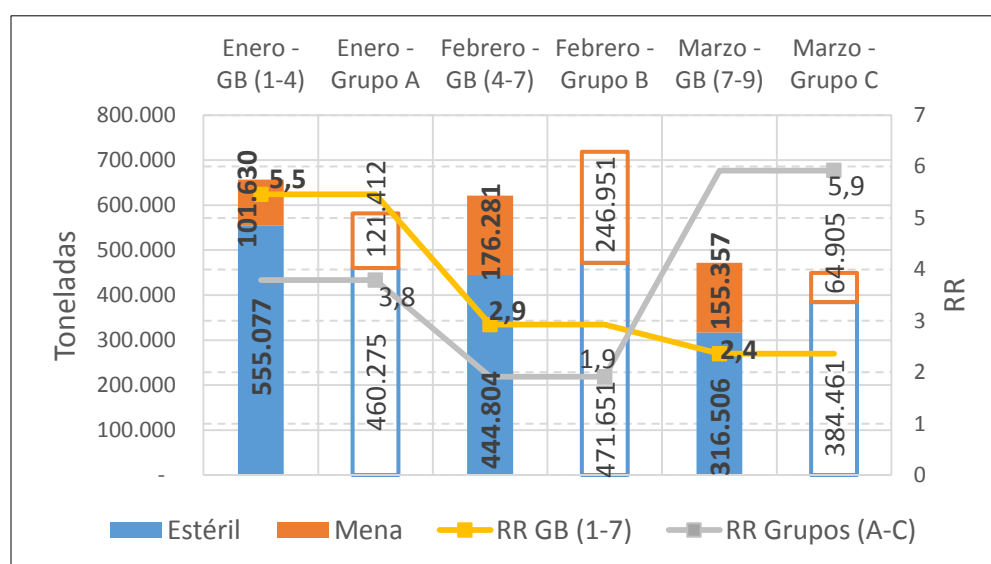
Mes	Estéril	Mena	RR
Enero - GB (1-4)	555.077	101.630	5,5
Enero - Grupo A	460.275	121.412	3,8
Alcance GB_(A)	121%	84 %	144 %
Febrero - GB (4-7)	444.804	176.281	2,9
Febrero - Grupo B	471.651	246.951	1,9
Alcance GB_(B)	94 %	71 %	153 %
Marzo - GB (7-9)	316.506	155.357	2,4
Marzo - Grupo C	384.461	64.905	5,9
Alcance GB_(C)	82 %	239 %	40 %

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 8 se representan de forma visual los datos pautados por la tabla 28, lo cual sirve para complementar con más detalle el comportamiento extractivo del orden jerárquico concretado. Para el mes de enero se aprecia que el grupo GB (1-4) toma una línea de explotación dirigida hacia la alta remoción de estéril por el orden de las 555.077 t y una extracción mineral conservadora de 101.630 t, lo que conlleva a la obtención de una RR superior a 4 que extralimita el tope económico, sin embargo, al tomar en consideración lo mencionado por Statzewitch (2017) con referencia a que en varios sectores de la mina existe rezago en las actividades de destapado de mineral (principalmente en Coacia), se considera prudente en el escenario planteado por el secuenciamiento GB que durante el primer mes dichas actividades retrasadas sean adelantadas y así lograr nivelar rápidamente los requerimientos operativos que sirven como base para alcanzar las metas propuestas por el mediano y largo plazo.

Al evaluar los resultados correlativos al mes de febrero se observa que el formato extractivo comienza a deslindarse de las altas tasas de remoción de estéril para comenzar con un modelo solidario dentro del rango RR económicamente aceptado (4:1), asimismo el grupo GB (4-7) presenta una tasa de 2,9 para dicho mes, donde a pesar de ser superior a la tasa de 1,9 conseguida por el grupo B igualmente representa una excelente razón de remoción que evita recuperar excesivamente las zonas mineralizadas y deja al próximo período mensual con suficientes recursos para que continúe con un correcto desenvolvimiento operativo.

Seguidamente se interpreta el resultado obtenido para marzo por el grupo GB (7-9) en contraposición con el grupo C, donde visualmente desde la gráfica 8 se delimita que la recuperación de mena proyectada por GB (7-9) excede al derivado por el grupo C en 90.453 t de mineralización gracias a la distribución relativamente equitativa de los meses anteriores, igualmente se observa que la extracción de estéril planificada por GB (7-9) en dicho mes es la más baja del resto de los meses complementarios con un total de 316.506 t, lo que conlleva a una RR de 2,4 que comienza a generar una línea de tendencia RR inferior a 4 que sirve como directriz para la planificación de los meses venideros.



Gráfica 8. Comparación RR de grupos GB y ABC
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 29 se aprecia un cuadro comparativo de los tiempos de explotación según el orden secuencial de los bloques de producción (GB vs ABC) aunado a la cantidad oro obtenido por la secuencia dentro del lapso mensual correspondiente. Para comparar el desempeño mensual de los grupos de avance se utiliza un criterio definido como razón de producción, el cual consiste primeramente en hallar el cociente entre la cantidad de kilogramos de oro recuperados y la cantidad de días empleados para su extracción que cuantifica la producción de oro diario de la secuencia en cuestión, de forma subsiguiente como consecuencia de estar en un horizonte de comparación mensual se procede a multiplicar dicho cociente de producción diario por 30, estableciendo así una media de producción mensual para el grupo de avance determinado.

Por ejemplo, en dicha tabla 29 se observa que el GB 1-4 inicia sus actividades operativas el primero de enero para finiquitar la totalidad de sus bloques pautados el 31 del mismo mes utilizando un total de 719 h por la flota de equipos, lo que permite adquirir una razón de producción mensual de 173 kg que conlleva a lograr un 62 % de la tasa de producción de oro mensual del grupo A. Para el mes de febrero se hace una interpretación similar, donde el GB 4-7 comienza las labores el 31 de enero para abarcar completamente el mes de febrero y culminar el primero de marzo, lo que induce una utilización de la flota de equipos de 712 h y proyecta una razón de producción de 416 kg de oro debido al alto tenor obtenido por los bloques pertenecientes al grupo GB 4-7, dicha tasa de producción supera en un 108 % la obtenida por el grupo B, donde a partir de este grupo de bloques GB se comienza a ver una mejora en la productividad mensual. Por último se denota el desempeño del GB 7-9, el cual da cabida a la iniciación de las faenas operativas a partir del primero de marzo hasta culminar su operatividad el 26 de marzo, por lo que la flota tendría una utilización proyectada de 582 h acumuladas para marzo que confieren una razón de producción de 234 kg/mes, sobrepasando en 219 % la tasa dejada por el grupo C.

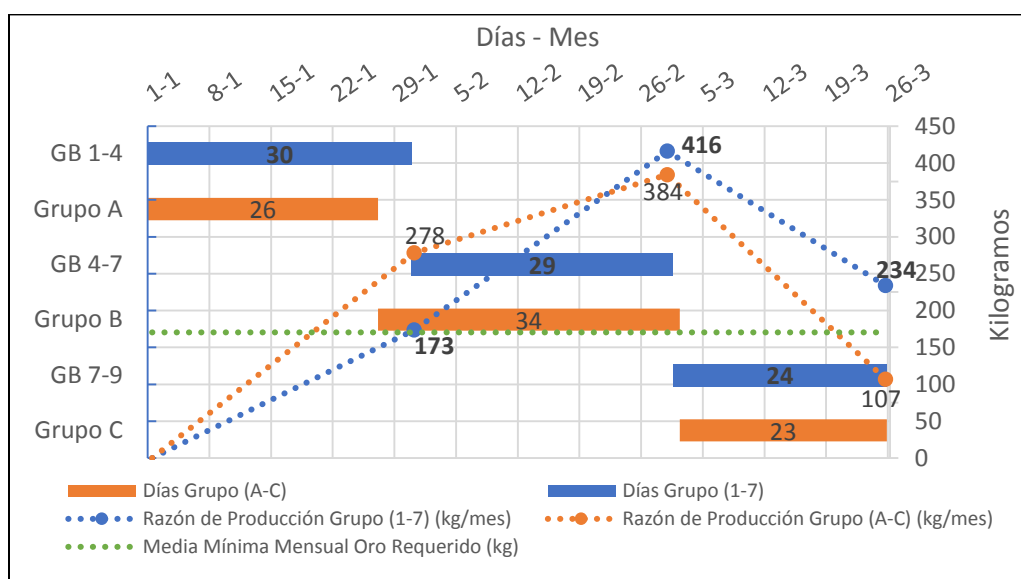
Tabla 29. Comparativo de tiempos de ejecución y recuperación de oro según grupos

Mes	Grupo	Inicio	Fin	Horas de Flota	Días	Oro (kg)	Razón de Producción (kg/mes)	Alcance Porcentual
Enero	GB 1-4	1-1	31-1	719	30	173	173	62 %
	Grupo A	1-1	27-1	627	26	242	278	
Febrero	GB 4-7	31-1	1-3	712	29	402	416	108 %
	Grupo B	27-1	2-3	822	34	439	384	
Marzo	GB 7-9	1-3	26-3	582	24	187	234	219 %
	Grupo C	2-3	26-3	564	23	82	107	

Fuente: Elaboración propia

Para estructurar la comparación de los grupos (GB vs ABC) de manera aún más tangible se genera la gráfica 9, la cual tiene un formato de diagrama de Gantt donde se representa el lapso abarcado por cada grupo de bloques mediante barra horizontales, aquellas rellenas con coloración azul representan los días ocupados por los bloques GB mientras que las de tonalidad naranja figuran el lapso temporal afín a los bloques A-B-C. Igualmente se proyectan tres curvas con demarcación punteada, donde la coloreada en azul simula el

comportamiento de la razón de producción del conjunto GB, aquella segmentada en naranja esquematiza la tasa de producción esperada por el grupo A-B-C y la recta punteada en color verde especifica la tasa mínima media de recuperación en kilogramos de oro a nivel mensual. Dicha tasa mínima de recuperación de oro se calcula a partir de la capacidad de procesamiento de la planta metalúrgica, la cual puede procesar una cantidad de 4.395 t diarias que al multiplicar por 30 días se establece su media de producción mensual requerida, posteriormente al considerar los parámetros de procesamiento estipulados por la planificación a largo plazo correlativos al porcentaje de dilución y recuperación de 5 y 80 % respectivamente, se consigue una media de procesamiento mineral mensual de 100.206 t que al multiplicar por un tenor promedio de 1,7 g/t esperado para el primer trimestre se consigue que la media mínima de oro mensual está cercana a los 170 kg.



Gráfica 9. Comparativo de tiempos de ejecución y recuperación de oro según grupos
Fuente: Elaboración propia

Continuando con la interpretación de la gráfica 9 se observa que ningún grupo mensual engloba la misma fase temporal, es decir, el grupo GB 1-4 ocupa 30 días del mes de enero mientras que su contraparte grupo A ocupa tan sólo 26 días del mismo mes, así mismo el grupo GB 4-7 circunscribe todo el mes de febrero y toca de forma tangente el último día de enero y el primero de marzo, donde igualmente su grupo antagónico B ocupa todo febrero pero con mayor proporción los meses de enero y marzo, hasta finalmente apreciar que los grupos GB 7-9 y C utilizan casi la misma cantidad de días sólo que uno inicia un día después

del otro, al reafirmar la disparidad de los tiempos de ejecución grupal se da cabida al análisis de las razones de producción de oro inherentes al grupo extractivo en cuestión. La gráfica permite dilucidar que para el primer mes del GB 1-4 se alcanza una tasa de 173 kg que a pesar de ser inferior a la del grupo A, se encuentra perfectamente dentro del rango de recuperación de oro exigido por planta, ergo, se proyecta que la agrupación GB 1-4 tiene la probabilidad de implementarse sin generar ningún tipo de pérdidas económicas. Con respecto al GB 4-7 se aprecia que su tasa de producción ofrece una cantidad de 416 kg de oro que supera a la establecida por el grupo B de 384 kg. Finalmente, se visualiza que las tasas de recuperación de oro para el mes de marzo son completamente opuestas entre el GB 7-9 y el grupo C, ya que este último proyecta un escenario que genera pérdidas económicas al encontrarse por debajo de la tasa mínima con 107 kg, mientras que el GB 7-9 mantiene una tendencia de alta recuperación de oro para el mes con 234 kg. En conclusión, el orden jerárquico propuesto estima unos mejores índices recuperativos de oro que el orden predefinido por el plan a largo plazo.

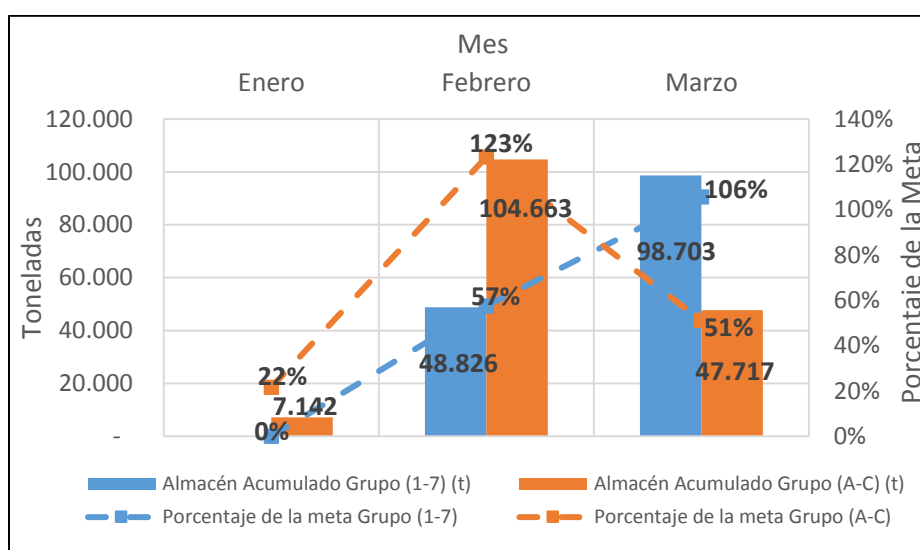
En la tabla 30 se dictamina la cantidad de material almacenado mensualmente por cada grupo de avance aunado al porcentaje de la meta alcanzada. En dicha tabla se observa que la agrupación GB 1-4 obtiene un almacenamiento nulo para el mes de enero en contraposición con el grupo A que al menos logra un 22 % de la meta, por otro lado el GB 4-7 concreta un 57 % de la meta estipulada que su homólogo B logra sobrepasar en 23 %, finalmente en el mes de marzo se comienza a apreciar una buena aproximación a la meta por parte del conjunto GB 7-9 con 106 %, mientras que el grupo C sólo consigue un 51 % de lo estipulado.

Tabla 30. Comparativo de *stock* acumulado según grupo de bloques

Mes	Grupo	Almacén Acumulado (t)	Porcentaje Meta	Meta
Enero	GB 1-4	-	0 %	33.067
	Grupo A	7.142	22 %	
Febrero	GB 4-7	48.826	57 %	84.915
	Grupo B	104.663	123 %	
Marzo	GB 7-9	98.703	106 %	93.374
	Grupo C	47.717	51 %	

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 10 se explica con mayor detalle el comportamiento del almacenamiento mineral por parte del conjunto GB en contraste con A-B-C, dicho gráfico se representa por medio de barras verticales donde aquellas en coloración azul expresan el acopio de la agrupación GB para su mes correspondiente, y las de tonalidad naranja figuran el almacenamiento del grupo A-B-C según el mes en cuestión. Asimismo, se conciben dos curvas segmentadas las cuales representan el modelo de comportamiento de los grupos definidos para lograr los objetivos propuestos por la planificación a largo plazo, donde el grupo A-B-C está en naranja y GB en azul.



Gráfica 10. Comparativo de *stock* acumulado según grupo de bloques
Fuente: Elaboración propia

En enero se observa que la capacidad de acopio tanto para el GB 1-4 como para el grupo A es muy baja debido al retraso en las actividades de destapado de mineral que consecuentemente merman la tasa extractiva de las zonas mineralizadas. En dicho mes el grupo GB 1-4 obtiene un almacenamiento nulo ya que el proceso de explotación llevado a cabo permite la adquisición de 101.630 t de mena que tienen que ser enviados a planta en su totalidad, sin embargo se obtiene que la planta cuenta con un desfase de 30.220 t solicitadas para ese período que pueden ser compensadas con los centros de acopio generados en los períodos anteriores o caso de que exista escases de material previamente acaparado no resulta estrictamente necesario opacar el desfase de mineral mencionado ya que como se menciona a partir de la gráfica 9 que el mes de enero está dentro del límite aceptado de

rentabilidad por parte de la planificación GB 1-4. Seguidamente, el mes de febrero concebido por el grupo GB 4-7 admite una capacidad de procesamiento en planta de 127.455 t que permite acumular en los centros de acaparamiento un total de 48.826 t, de esta forma se da cabida a un comportamiento con tendencia creciente en el acopio mineral por parte del conjunto GB 4-7 que a pesar de alcanzar aproximadamente la mitad de la meta sigue siendo un almacenamiento importante para el mes. Por último, el mes de marzo emprendido bajo el orden GB 7-9 induce hasta la fecha de culminación de los bloques un procesamiento en planta de 105.480 t que permite un almacenamiento parcial de 49.877 t para el mes, brindando un global de 98.703 t que se asemeja a la meta final exigida por el largo plazo. En conclusión se puede argumentar que la tendencia de crecimiento mensual del almacenamiento mineral por parte del conjunto GB es más conciso que el generado por A-B-C ya que los primeros presentan una progresión lineal positiva y constante a diferencia de los segundos que presentan un comportamiento bipolar con altos y bajos muy opuestos. Al momento de estructurar planificaciones operativas es preferible definir escenarios con comportamientos progresivos, ya que en caso de presentarse algún inconveniente relativo a la producción se obtenga que las implicaciones asociadas al logro de las metas puedan estimarse para su oportuna compensación durante períodos siguientes.

El formato de avance definido por el conjunto GB está representado mediante la figura 17, en el cual se delimita que la agrupación (1-4) tiene como directriz principal trabajar sobre ocho bloques ubicados en la zona central de Rosika cuyo bloque con mayor cantidad de oro es el 1,49 con un total de 102 kg, al mismo tiempo que lleva a cabo intensas actividades de remoción de estéril al Norte de Rosika y al Oeste de Coacia en el mes de enero, para permitir la factibilidad de las operaciones con el formato impuesto se debe modificar la rampa temporal ubicada en el centro de Rosika. Seguidamente, se presenta el conjunto (4-7) que posee sus acciones de laboreo dirigidas únicamente dentro de Rosika en los sectores Noroeste, centro y Sur para el mes de febrero, donde el bloque con mayor cantidad de oro presente es el 1,72 con 276 kg perteneciente a la zona central, asimismo para dar cabida al esquema propuesto se requiere de la eliminación de la rampa temporal que enlaza a las fosas Rosika y Coacia. Por último, la secuencia GB (7-9) en el mes de marzo se estipula que tenga un lineamiento dirigido a la recuperación de mineral principalmente en el área Sur de Rosika

cuyo bloque con mayor cantidad de oro es el 1,58 con 95 kg aproximadamente, mientras que los esfuerzos extractivos de estéril se distribuyen tanto en las zonas Norte y Centro-Oeste de Rosika como en los sectores Este y Oeste de Coacia. La dirección de avance de los bloques definidos se encuentra dependiente de la ubicación relativa de dichos bloques, por lo que en líneas generales se puede mencionar que aquellos bloques ubicados al Oeste tanto de Coacia como Rosika poseen un avance Este-Oeste, mientras que los bloques delimitados en las zonas Este cuentan con progresiones Oeste-Este. El esquema de extracción mostrado por el conjunto GB procura concebir una tasa de remoción estéril/mena de forma nivelada y proporcional en el tiempo que a su vez cumpla paralelamente con todos los parámetros operativos y de seguridad geotécnica que demande la explotación, de manera que se generen escenarios que ofrezcan estimaciones de producción con tendencias alcistas y constantes beneficiosas para la empresa en cuestión.

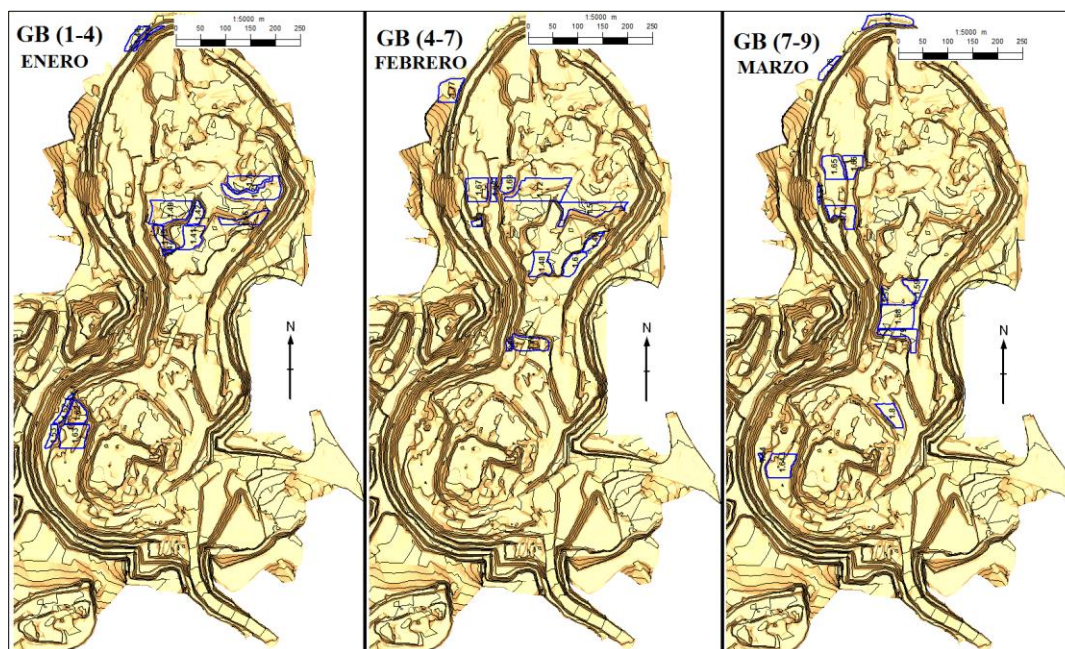


Figura 17. Zonas planificadas para su explotación según el conjunto GB (1-7)
Fuente: Elaboración propia

5.5. Programa de producción semanal

En la tabla 31 se presentan las directrices principales de producción semanal concernientes con la planificación a corto plazo, donde se indica primeramente la ubicación de los bloques

de producción para luego definir la cantidad de estéril y mena a extraer identificando sus tenores y RR respectivos de cada semana, asimismo se identifican las prioridades de explotación por zona.

Tabla 31. Directrices de producción semanal

Semana	Zona	Prioridad	Bloque	Panel	Cota	Mena (t)	Tenor	Estéril (t)	RR	Dirección de Avance
1	Oeste COA	I	1,62	S6	190	16.887	1,2	40.727	2,4	Suroeste
			1,51	S7	190	32	0,7	1.704	53,7	
			1,52	S6	195	614	0,9	21.746	35,4	
	Central RSK	II	1,45	N1	170	19.124	1,3	14.302	0,7	Noroeste
			1,47	S12	175	1.785	1,4	1.902	1,1	
			1,71	N3	170	-	-	44.255	>>4	
Totales Mena - Estéril - RR y Promedio Tenor						38.442	1,1	124.636	3,2	
2	Central RSK	I	1,45	N1	170	5.520	1,3	-	-	Noroeste
			1,47	S12	175	900	1,4	-	-	
			1,71	N3	170	-	-	34.636	>>4	
		II	1,49	N2	170	31.253	2,7	63.331	2,0	Noroeste
			1,56	N2	165	772	3,4	26.280	34,1	Noreste
Totales Mena - Estéril - RR y Promedio Tenor						38.445	2,2	124.247	3,2	
3	Central RSK	I	1,49	N2	170	11.655	2,7	-	-	Noroeste
			1,56	N2	165	2.684	3,4	29.633	11,0	E-O
			1,7	N2	175	-	-	65.419	>>4	O-E
			1,41	N1	160	3.467	1,7	19.999	5,8	N-S
			1,42	N2	160	1.658	1,1	10.290	6,2	
	Oeste COA	II	1,63	S5	190	1.779	0,8	-	-	Suroeste
			1,53	S5	195	3.412	0,8	-	-	
	Almacén	I	-1	S7	210	4.639	1,0	-	-	-
Totales Mena - Estéril - RR y Promedio Tenor						29.293	1,6	125.342	4,3	
4	Central RSK	I	1,41	N1	160	-	-	28.841	>>4	N-S
			1,42	N2	160	-	-	14.839	>>4	
	Almacén		-1	S7	210	10.255	1,0	-	-	-
	Oeste COA	II	1,53	S5	195	-	-	11.720	>>4	Suroeste
			1,63	S5	190	-	-	69.942	>>4	
Totales Mena - Estéril - RR y Promedio Tenor						10.255	1,0	125.342	12,2	
5	Oeste COA	I	1,53	S5	195	-	-	5.152	>>4	Suroeste
			1,63	S5	190	-	-	30.745	>>4	
	Almacén		-1	S7	210	4.852	1,0	-	-	-
	Norte RSK	II	1,44	N9	200	88	0,6	13.022	147,6	S-N
			1,75	N9	190	-	-	6.591	>>4	
Totales Mena - Estéril - RR y Promedio Tenor						4.941	0,8	55.510	11,2	

Fuente: Elaboración propia

Para la semana 1 se obtiene un total de mineralización proyectada de 38.442 t y estéril de 124.636, lo que arroja un RR cercano a los 3,2 y un tenor de 1,1 g/t, por lo que se aprecia que el global de la primera semana se encuentra dentro de los parámetros económicos de explotación definidos por el largo y mediano plazo. Las zonas de avance especificadas en esta semana son el sector Oeste de Coacia específicamente en los bloques 1,62 – 1,51 – 1,52 y la parte central de Rosika en los bloques 1,45 – 1,47 – 1,71. En la planificación se le otorga mayor prioridad al avance en Coacia ya que dicho sector posee un fuerte retraso en las actividades de remoción de estéril que deben ser atendidas lo antes posible ya que si se siguen postergando y se enfoca el avance sólo en las partes mineralizadas se alcanza un punto de inflexión económico donde la única actividad a realizar posible va a ser la extracción de estéril que implicaría en un cierre técnico de la fosa. Además se especifican las direcciones de avance que se debe seguir para la extracción de los bloques, cuya zona Oeste de Coacia debe ser preferiblemente con dirección Suroeste, mientras que la zona central de Rosika varía según el bloque donde el 1,45 y 1,47 deben seguir una extracción Noroeste y el 1,71 preferiblemente en sentido Oeste a Este. Los criterios utilizados para elegir el sentido de extracción en los bloques detonados se fundamenta en dos principalmente, el primero lo constituye la distribución esperada de la mineralización donde por ejemplo, el bloque 1,62 posee una disposición de las vetas con sentido suroeste, por ello, se escoge dicho avance para la veta definida, el segundo criterio lo constituye la distribución espacial de los equipos de carga y acarreo, donde se busca la forma de más fácil acceso y desplazamiento en el perímetro aledaño al bloque en extracción.

En la figura 18 se esquematizan las propuestas de dirección y sentido inherentes a la explotación de los bloques de la primera semana, donde la imagen superior ubica los bloques pertenecientes a la zona Oeste de Coacia y la inferior representa a los bloques de la zona central de Rosika, al margen derecho de ambas imágenes se representa en un círculo rojo la ubicación relativa de los bloques en cuestión.

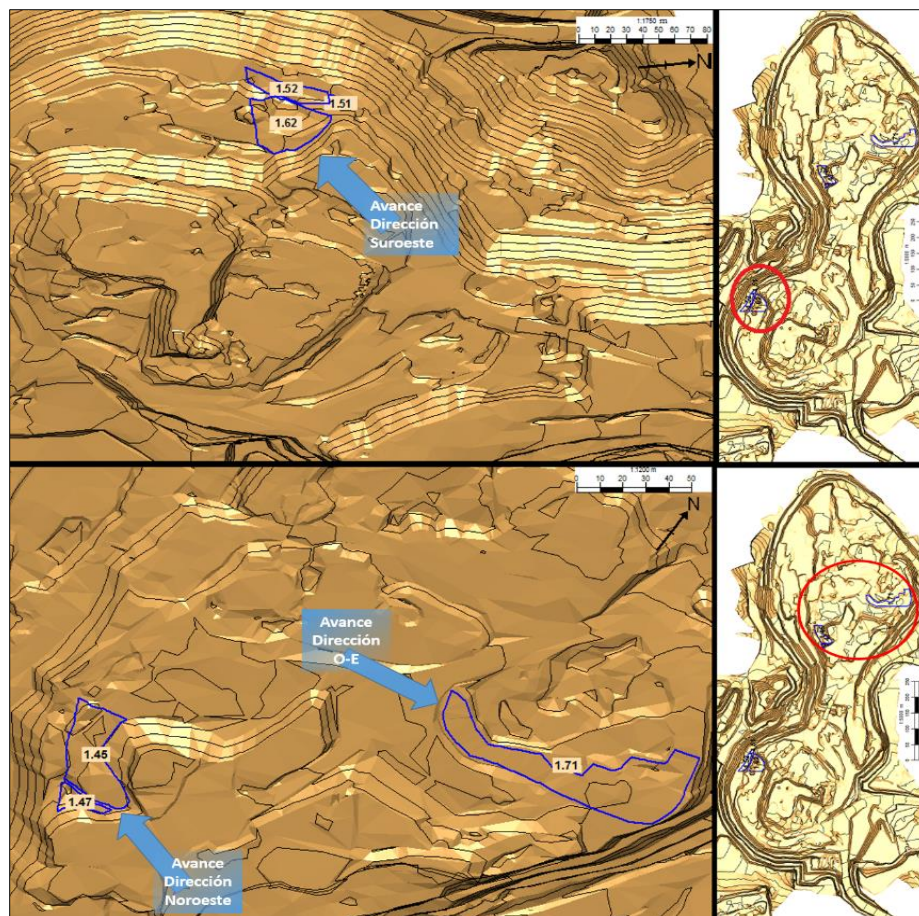


Figura 18. Esquema del sentido de avance para los bloques de la semana 1
Fuente: Elaboración propia

Para la segunda semana el foco de las labores mineras se encuentra condensado en la sector Central de Rosika, donde se obtienen unas cantidades de estéril y menas cercanas a la semana previa, lo que induce una RR idéntica de 3,2, lo que cambia para la presente semana sería el tenor global proyectado que es de 2,2 g/t. El enfoque de la presente semana busca prioritariamente finiquitar la extracción en los bloques 1,45 – 1,47 y 1,71 que brindan netamente estéril para dar luego inicio a las actividades extractivas en los bloques 1,49 y 1,56, las direcciones de avance recomendadas para estos últimos bloques mencionados son Noroeste y Noreste respectivamente.

La tercera semana cuenta con la mayor cantidad de bloques planificados presentándose un total de ocho, donde busca prioritariamente culminar las actividades extractivas en los bloques 1,49 y 1,59 de la zona central de Rosika para inicia la explotación en los bloques 1,7

– 1,41 y 1,42 de la misma zona, por otro lado y como segundo nivel en el orden jerárquico de avance para dicha semana se establece el inicio de las faenas mineras en los bloques 1,63 y 1,53 pertenecientes al sector Oeste de Coacia, asimismo se da cabida a la introducción de un nuevo bloque denominado (-1), el cual representa los bloques correlativos al almacén de mineral. Este período semanal se requiere del inicio en la extracción del material perteneciente al almacén debido a la alta cantidad de estéril y baja cuantía de mena proyectada en los bloques seleccionados para su extracción, como se menciona en el mediano plazo, el mes de enero representa un lapso de alta remoción de estéril debido al retraso del mismo principalmente en Coacia, lo cual se busca sopesar con el orden y avance de explotación en los bloques conferidos al mes en cuestión. A pesar de ser la semana con mayor cantidad de bloques planificados existe un fuerte desfase en la cantidad de material definido para su recuperación en comparación con las dos semanas anteriores, obteniéndose una total de mena de 29.293 t y estéril de 125.342, lo cual se aprecia una sub-producción cercana a las 9.000 t de mena y un excedente de casi 1.000 t en la remoción de estéril. En tenor inherente a la presente semana es de 1,6 g/t mientras que la RR comienza a sobrepasar en 0,3 al límite económico permitido. Las direcciones de avance exhortadas para la zona central de Rosika se pueden resumir con dos tendencias una Noroeste y la otra E-O, con respecto al sector Oeste de Coacia se recomienda la dirección Suroeste.

La cuarta semana comienza a arrojar un fuerte decrecimiento en las actividades de recuperación de mineral donde todo el material obtenido para la planta es directamente aportado por el almacén, cuyo tenor de mezcla se promedia en 1 g/t. La cantidad de estéril obtenido es similar a la semana anterior por lo que en consideración con la mena obtenida se presenta que la RR sobrepasa casi 4 veces la adquirida por la tercera semana, arrojando un total de 12,2 lo que indica un período de actividad extractiva netamente en estéril, a pesar de que los bloques cuentan con principal presencia de estéril se adjudica un igualmente un orden de explotación con el motivo de ir abriendo espacio a las nuevas vetas mineralizadas, por ende, se le prioridad a la culminación de los bloques 1,41 y 1,42 ubicado en la zona central de Rosika con dirección de avance N-S para luego explotar los bloques 1,53 y 1,63 del Oeste de Coacia en sentido Suroeste.

Para la última semana se cuenta con extracción de las últimas reservas del almacén que representan casi la totalidad de la mena ingresada a planta por lo que el presente mes igualmente sigue la línea de extracción neta de zonas con estéril que permiten destapar las vetas mineralizadas por lo que se cuenta con una cantidad de 55.510 t de estéril para la finalización del mes de enero, esta última semana sólo cuenta con tres días, es por ello que se registra tan poca extracción de estéril. El tenor generado por la mezcla del material almacenado es cercano a los 0,8 g/t, mientras que la RR es cercana al de la semana previa con 11,2. El orden adjudicado para la presente semana busca culminar las actividades de extracción de estéril en los bloques 1,53 y 1,63 del sector Oeste de Coacia para posteriormente dar inicio a la extracción igualmente de estéril en los bloques 1,44 y 1,75 ubicados al Norte de Rosika, cuya dirección de avance recomendado es Sur-Norte.

La tabla 32 muestra de forma compacta los resultados relativos a la cantidad de material desplazado discriminándose a su vez según la zona de acarreo para cada semana. Existe una distinción entre la cantidad de material extraído y la cantidad de material desplazado, donde el primero corresponde al material adquirido directamente de la extracción de la fosa, mientras que es segundo tiene incorporado el remanejo del material previamente extraído, por lo que claramente la cantidad de material desplazado siempre es un porcentaje mayor que la cantidad extraída.

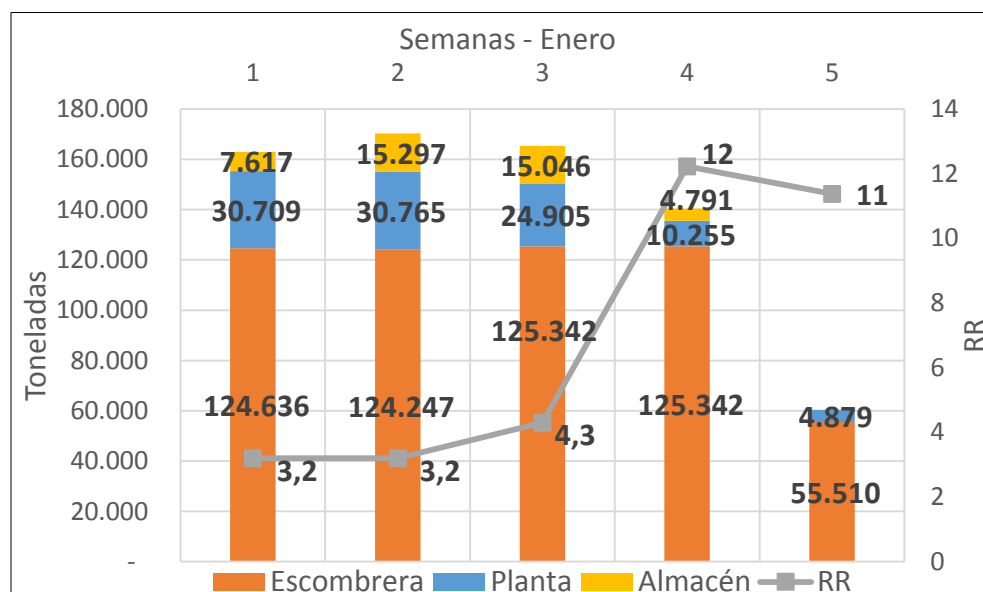
En la tabla 32 se aprecia la que para las dos primeras semanas el total de material desplazado es de 162.962 t, donde para la tercera semana se comienza a disminuir dicho monto para alcanzar un total de 154.635 t, asimismo, continua el descenso en la cantidad de material desplazado para la cuarta semana adquiriéndose un total de 135.597 t y finalmente en la última semana se cuenta con el desplazamiento de 60.389 t. Esta tendencia bajista en el desplazamiento de mineral es consecuencia de que para las últimas semanas ya no se cuenta con la extracción de mucho material mineralizado por lo que está cuantificando principalmente estéril causando la disminución en el desplazamiento de material para las zonas de planta y almacén.

Tabla 32. Material desplazado según destino de acarreo para las semanas de enero

Semana	Planta	Escombrera	Almacén	RR	Total Desplazado
1	30.709	124.636	7.617	3,2	162.962
2	30.765	124.247	15.297	3,2	162.692
3	24.905	125.342	15.046	4,3	154.635
4	10.255	125.342	4.791	12	135.597
5	4.879	55.510	0	11	60.389

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 11 se esquematiza visualmente el desplazamiento de material según el destino de acarreo por semana, lo cual se representa mediante columnas apiladas, donde aquellas con tonalidad rojiza indican el material enviado a la escombrera semanalmente, el azulado expresa la cantidad enviada a planta y el amarillo el desplazamiento de material para el almacén, a su vez se grafica una curva que delimita el comportamiento de la RR para las semanas de enero.



Gráfica 11. Material desplazado según destino de acarreo para las semanas de enero

Fuente: Elaboración propia

En dicha gráfica se aprecia que el material desplazado a la escombrera es relativamente constante cercano al orden de las 125.000 t, con una fuerte disminución para la quinta semana a 55.510 t debido a que dicha semana cuenta con apenas tres días de registro para el mes de enero, el margen constante relativo al envío de material a la escombrera expresa que se puede

cumplir la meta referida a la alta extracción de estéril para el destapado de nuevas vetas mineralizadas y solapamiento de las actividades retrasadas con la remoción de estéril.

Con respecto a la cantidad de material desplazado a planta se aprecia un comportamiento relativamente constante para las tres primeras semanas cercano al orden de las 30.000 t, que al correlacionar con la cantidad de estéril enviado a la escombrera se obtiene una RR promedio de 3,7 lo que se encuentra dentro del rango económico estipulado por el largo y mediano plazo, por otro lado se obtiene que las dos últimas semanas reducen fuertemente el envío de material a planta debido a la explotación prioritaria de bloques con alto contenido en estéril arrojando una RR promedio de 12. Como aspecto positivo de estas dos últimas semanas de baja rentabilidad se presenta que no tienen una duración neta de dos semanas si no que posee un rango de afectación de semana y media y que también los bloques planificados poseen tenores bastante altos que permiten alcanzar la recuperación mínima requerida de forma mensual.

El desplazamiento de mineral hacia las pilas de almacenamiento posee un auge hasta la segunda semana del mes alcanzando un total de 15.297 t, donde a partir de la tercera semana comienza la necesidad de extraer material del *stock* para saciar los requerimientos diarios de la planta sacando apenas una pequeña porción de 251 t, seguidamente para la cuarta semana igualmente se satisfacen las necesidades de la planta a través del material almacenado disminuyendo las reservas del almacén a 4.791 t, finalmente de dicha porción sobrante se decide tomar una cantidad de 1.597 t para asegurar el ingreso de material en la planta metalúrgica durante los últimos tres días del mes de enero, quedando en cero el almacenamiento acumulado para dicho mes.

En la tabla 33 se presentan de forma abreviada los conjuntos de GB estipulados para su extracción semanal con las fechas exactas de inicio y fin por cada conjunto GB, también se delimita la cantidad de días laborados semanalmente aunado a la cantidad de oro procesado con las fluctuaciones de tenores y densidades por cada semana respectiva.

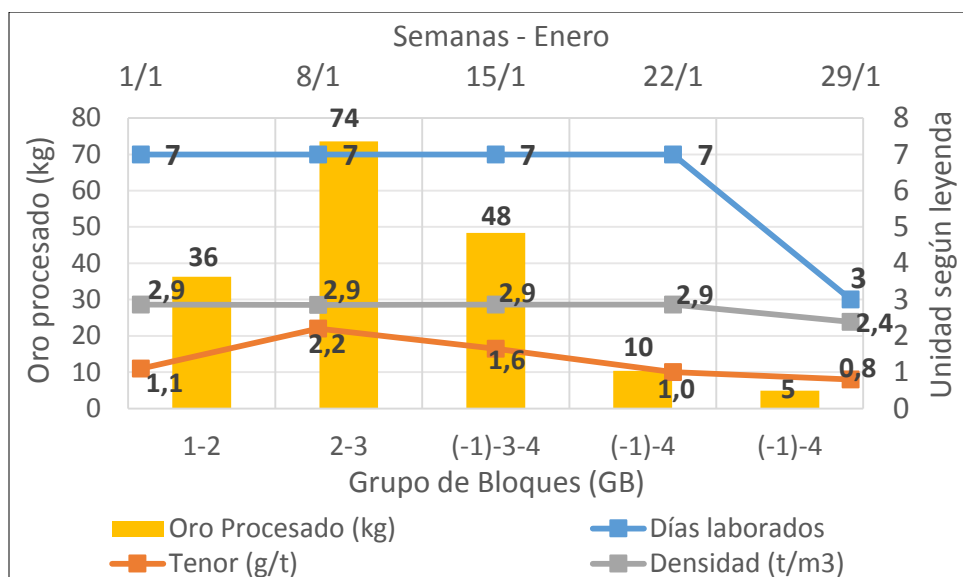
Tabla 33. Fechas de explotación y kg de oro obtenidos según grupos de bloques semanales

Semana	GB	Fecha Inicio	Fecha Fin	Días Trabajados	Oro Procesado (kg)	Tenor (g/t)	Densidad (t/m ³)
1	1-2	01/01	08/01	7	36	1,1	2,9
2	2-3	08/01	15/01	7	74	2,2	2,9
3	(-1)-3-4	15/01	22/01	7	48	1,6	2,9
4	(-1)-4	22/01	29/01	7	10	1	2,9
5	(-1)-4	29/01	31/01	3	5	0,8	2,4
				31	173	1,3	2,8
Total						Promedio	

Fuente: Elaboración propia

En dicha tabla se observa un total de 31 días trabajados para el mes de enero por lo que se obvia la consideración del día feriado atribuido al primero de enero, ya que generalmente las empresas mineras tienden a pagar el doble por cada día no laborable. Igualmente se estima un procesamiento de oro acumulado semanalmente de 173 kg, lo cual concuerda con la meta estipulada por el mediano plazo que se encuentra dentro del rango mínimo requerido de recuperación mensual de oro procesado, como se comenta en el desarrollo de la planificación a mediano plazo la tasa mínima de oro requerido en realidad fluctúa en función de los precios establecidos por el índice bursátil amarrado al mercado mundial de oro, por lo que se define dicha cantidad mínima en función de la capacidad de procesamiento de la planta y el tenor medio concretado por el largo plazo. Por otro lado, en la tabla 33 se delimita el promedio general del tenor y la densidad para el mes de enero dando un total de 1,34 g/t y 2,8 t/m³ respectivamente.

En la gráfica 12 se visualiza de forma más tangible el conjunto de datos brindados por la tabla 33, donde la cantidad de kilogramos de oro procesado semanalmente para el mes de enero se representa mediante columnas verticales en coloración amarilla, cuyo eje horizontal inferior especifica el conjunto GB abarcado por la recuperación de oro respectiva y el eje horizontal superior delimita la fecha de inicio de semana adjudicado a cada GB para la realización de sus procesos extractivos. Además se proyectan mediante curvas los comportamientos asociados al tenor, densidad y la cantidad de días trabajados semanalmente cuyas líneas de tendencia están coloreadas con naranja, gris y azul respectivamente.



Gráfica 12. Kilogramos de oro obtenido según grupos de bloques semanales
Fuente: Elaboración propia

Al analizar con mayor detalle la gráfica 12 se aprecia que para las primeras tres semanas se obtiene una buena recuperación de oro con promedio entre los tres cercano a los 52 kg/semana, presentándose un pico en la extracción de oro para la segunda semana de enero con 74 kg, igualmente se observa una densidad de roca constante y bastante elevada con promedio de 2,9 para las tres semanas iniciales que se desenvuelve en cotas cercanas a los 160 msnm, en lo que al tenor respecta para dichas semanas se observa la presencia de tenores por encima de 1 g/t con tope en febrero que presenta una ley de 2,2 lo que evidencia la relación directamente proporcional entre el grado de mineralización y la cantidad de oro recuperado. Para las dos últimas semanas se aprecia la disminución en la cantidad de oro obtenido consecuencia de la extracción nula de mena para dichos meses por lo que los únicos kilogramos de oro estimados provienen del almacén. Los tenores que se obtienen para las últimas dos semanas provienen del tenor generado por las mezclas de material generado en el almacén que presenta cierto grado de dilución, por lo que se comienzan a observar tenores inferiores a los 1 g/t con el mínimo en 0,8 g/t. Asimismo se observa que la densidad disminuye para la última semana, ello es consecuencia del inicio en las actividades de remoción de estéril en cotas superiores a la 190 msnm al norte de Rosika donde se encuentran capas de óxido saprolítico.

En la tabla 34 se aprecia el rendimiento horario de los equipos de carga y acarreo para las cinco semanas del mes de enero, estas horas forman parte de los resultados obtenidos por los KPI estipulados inicialmente en el mediano y largo plazo, por lo que son desempeños conceptuales que debe ser comparados con los rendimientos reales del campo de trabajo para que las proyecciones puedan servir de utilidad y así retroalimentar las nuevas estimaciones del rendimiento de los equipos. Dicha tabla se estructura por cinco columnas principales donde la primera indica la semana en cuestión, luego se especifica el equipo de carga o acarreo para posteriormente presentar las horas productivas llevadas a cabo en la semana por el equipo en cuestión, asimismo se presenta una columna con las horas productivas restantes que le quedan al equipo para recabar una producción efectiva aunada a otra columna con la producción realizada por equipo en toneladas. Antes de comenzar el análisis detallado de la tabla se hace la distinción entre los términos horas utilizadas y horas productivas, donde las utilizadas hacen alusión a las horas inherentes a una semana, lo cual es un tiempo constante de 168 horas/semana, y las horas productivas representan el porcentaje de utilización del equipo en cuestión, por ejemplo, el porcentaje de utilización de la retroexcavadora Komatsu 150 es de 54,4% por lo que al multiplicar las horas semanales por dicho porcentaje se obtiene un total cercano a 91 horas efectivas por cada semana.

Tabla 34. Rendimiento semanal de los equipos de carga y acarreo para enero

Semana	Equipo	Horas Productivas	Horas Restantes	Toneladas/Equipo
1	Komatsu 1250	86	5	146.555
	Wa 470	15	76	16.407
	TR 60	84	10	40.741
2	Komatsu 1250	85	5	145.294
	Wa 470	15	75	17.398
	TR 60	76	19	40.673
3	Komatsu 1250	73	18	125.342
	Wa 470	26	64	29.293
	TR 60	71	23	38.659
4	Komatsu 1250	73	18	125.342
	Wa 470	9	82	10.255
	TR 60	70	24	33.899
5	Komatsu 1250	34	5	51.059
	Wa 470	10	28	9.329
	TR 60	35	5	15.097

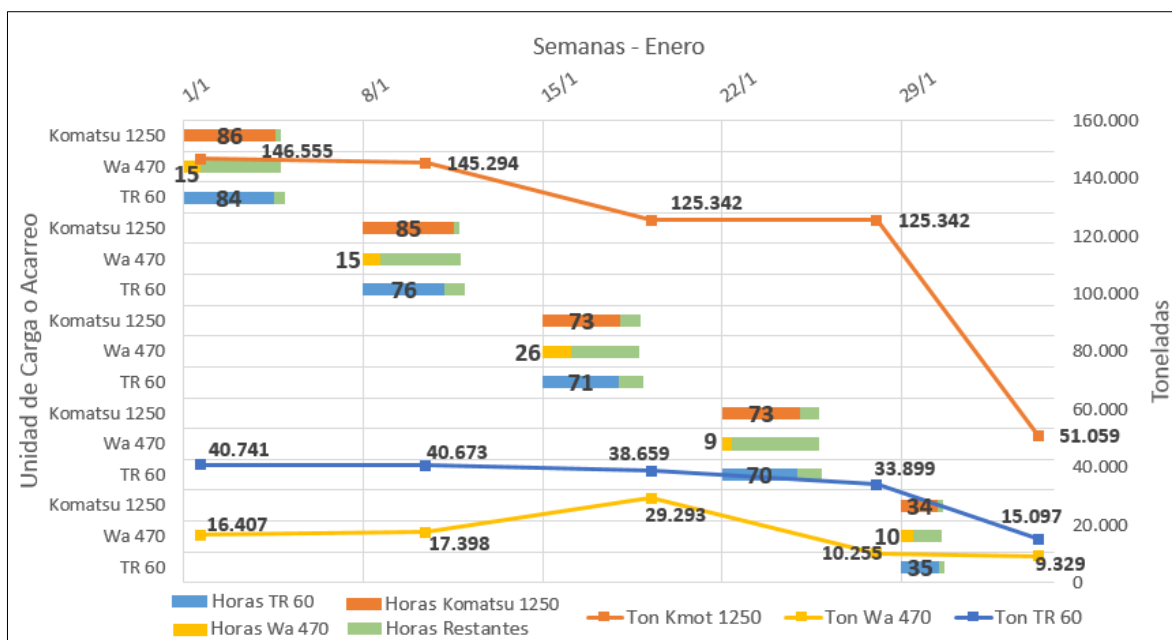
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 34 se observa la aparición de un nuevo equipo de producción que no se había mencionado en la planificación a mediano plazo ni largo plazo, que resulta pertinente de su incorporación para concretar una rentabilidad productiva asociada al corto plazo, ya que se incorpora una nueva variable al análisis de este horizonte temporal que corresponde a la cantidad de frentes operativos necesarios.

Como consecuencia de requerir dos frentes operativos por semana se incorpora el cargador frontal Komatsu Wa 470, el cual va a servir de apoyo a la retroexcavadora Komatsu PC 1250 en las actividades de carga de material, donde el Wa 470 tiene como tarea prioritaria la recuperación de mineral mientras que la PC 1250 alterna entre extracción de estéril y mena, pero con mayor peso en la remoción de estéril. Igualmente al hacer un estudio con mayor detalle de las faenas mineras asociadas al corto plazo se aprecia la necesidad de incorporar al análisis los equipos de soporte de mina, los cuales examinan con más detalle en el epígrafe asociado a la planificación diaria.

Para profundizar en la interpretación de la tabla 34 se genera la gráfica 13, la cual representa en formato de diagrama de Gantt las horas productivas y restantes por equipo a través de barras horizontales apiladas, donde las barras en coloración naranja representa las horas productivas de la PC 1250, las barras amarillas corresponden a la productividad del Wa 470 y aquellas en color azul definen las horas productivas para cada equipo de acarreo TR 60, a su vez se representa mediante barras en coloración verde el tiempo que le queda al equipo en cuestión para culminar su capacidad de producción semanal.

También se representan las curvas de comportamiento de la cantidad de toneladas manejadas por cada equipo a nivel semanal, donde la línea en color naranja representa el tonelaje semanal proyectado para la PC-1250, el segmento en color amarillo esquematiza las toneladas recuperadas por el Wa-470 y la curva azulada figura el tonelaje desplazado semanalmente por cada unidad de acarreo TR 60.



Gráfica 13. Rendimiento semanal de los equipos de carga y acarreo para enero
Fuente: Elaboración propia

La gráfica 13 es un resumen visual del comportamiento KPI para cada equipo, donde se destaca inicialmente que las barras verdes correlativas a las horas restantes de producción no completan el margen atribuido a las horas semanales sino que llegan hasta casi la mitad de la semana, lo que guarda correlación con un porcentaje de utilización cercano al 50 %.

En la primera semana se observa que la retroexcavadora PC 1250 utiliza un total de 86 horas para concretar una productividad de 146.555 t, teniendo casi cinco horas restantes para completar su productividad semanal, donde esas cinco horas se pueden guardar para alargarle la vida útil al equipo o se pueden implementar para actividades auxiliares tales como el perfilamiento de taludes, apertura de zanjas de captación pluvial o cualquier otra tarea derivada del remanejo de material.

Con respecto al cargador frontal Wa 470 se observa que para la primera semana presenta un uso de 15 horas en actividades netamente extractivas de mena arrojando un total de 76 horas restantes que igualmente pueden ser utilizadas en actividades de soporte de mina tales como adecuación de bermas de seguridad, relleno de baches viales, o apoyo en la limpieza de frentes operativos haciendo la función de un tractor de neumáticos. El motivo por el cual no

se utiliza el cargador frontal Wa 470 para la remoción de estéril es consecuencia de perseguir una meta estipulada por el mediano plazo, que con la retroexcavadora se consigue la extracción de estéril necesario dentro del período acordado sin necesidad de incorporar otro equipo para dicha actividad. El tonelaje proyectado para el Wa 470 en su primera semana es de 16.407 t, lo que apenas representa un 26 % de su capacidad de producción efectiva, como se menciona en el párrafo anterior se obtiene esta baja cuantía en las toneladas desplazadas ya que dicho registro está enfocado únicamente en las actividades extractivas del equipo, tanto en las fosas como en el almacén, por lo que sus labores de soporte no se encuentran cuantificados. A este equipo de carga se le inducen dos responsabilidades principales, la primera es concerniente a la carga de material ubicado en la fosa para ser depositado en el almacén y en planta por los equipos de acarreo y la segunda es la carga del material localizado en el almacén para ser transferido a la planta por los equipos de acarreo respectivos.

Por otro lado, cada unidad de acarreo TR 60 cumple con 84 horas productivas para la primera semana, lo que permite proyectar un total de 10 h sobrantes que sirven como tiempos de “gracia o colchón” en caso de que se presenten pérdidas de tiempo asociadas a lluvias o tiempos de reparación no planificados, asimismo se observa que cada unidad de acarreo tiene una producción semanal cercana a las 40.741 t lo que supera en aproximadamente un 35 % el tonelaje definido por la planificación a largo plazo, este excedente productivo concretado por el corto plazo es debido a los tiempos de ciclo, ya que el largo plazo estima una producción de acarreo en función de la distancia más alejada de la fosa, mientras que el corto plazo define los desplazamientos de acarreo en puntos específicos, que mientras más cerca estén de la planta o la escombrera permiten generar una productividad mayor, es decir, la productividad de los equipos de acarreo es inversamente proporcional a la distancia del desplazamiento.

De forma subsiguiente se puede hacer la misma interpretación para la segunda semana que arroja resultados similares a los obtenidos por la semana 1. Mientras que para la tercera semana se aprecia una disminución en la producción por parte de la Komatsu 1250 consecuencia de un aumento en la productividad del Wa 470 ya que la retro delega actividades de extracción de mena al cargador frontal, asimismo se presenta una disminución

en la producción por parte del TR 60 ya que se inician las actividades de recuperación de mineral desde el almacén a la planta, lo que induce en distancias de acarreo menores que permiten cumplir con las metas de producción en tiempos de ciclos mucho más rápidos.

Por otro lado, se visualiza que en las dos últimas semanas existe una reducción significativa en los tiempos de producción del cargador frontal, motivo de que las labores mineras llevadas a cabo en las fosas son adjudicadas netamente al estéril por parte de la retroexcavadora, por lo que el Wa 470 enfoca su producción en la zona del almacén.

5.6. Programa de producción diario

En la tabla 35 se delimitan las pérdidas de tiempo productivo relativamente constantes en el desenvolvimiento normal de cada turno de trabajo, donde en primera instancia se pautan 10 min asociados a la incorporación de los equipos de seguridad industrial por parte del personal de trabajo, tales como: chalecos, botas, cascos, gafas, orejeras, guantes, mascarillas, entre otros, correspondientes según la actividad a desempeñar por parte del trabajador, donde también dentro de esos 10 minutos se anexa una breve charla de seguridad industrial antes de dar inicio a las actividades. De forma subsiguiente se incorporan los tiempos asociados al traslado del personal, tiempo de estadía en el comedor y cambios de turno que otorgan obligatoriamente una pérdida en los tiempos de producción cercana a dos horas por turno. Asimismo, se generaliza un tiempo “perdido” de 35 min vinculado con las voladuras, que no indica necesariamente que todos los días se realice una voladura sino que en promedio diario se estima la inversión de casi media hora por turno. La suma de todo lo anterior da un tiempo muerto cercano a las dos horas y media, por lo que para un turno de ocho horas se tendrían sólo cinco horas y media disponibles para la producción *per se*, lo que guarda correlación con la multiplicación de los KPI referentes a la disponibilidad física y uso de la disponibilidad que arrojan un 68 % de tiempo efectivo por cada turno de ocho horas.

Tabla 35. Pérdidas de tiempo productivo constantes por turno de trabajo

Actividad	min
Vestuario + charla de seguridad industrial	10
Traslado de personal a zonas de trabajo	10
Traslado de personal al comedor	10
Comedor	60
Traslado de personal a zonas de trabajo	10
Cambio de turno	20
Voladura	35
Total	155

Fuente: Elaboración propia

Continuando con el análisis a detalle de cada una de las actividades diarias requeridas para el correcto desenvolvimiento de la faena minera, se procede a examinar el conjunto de equipos mínimos necesarios para llevar a cabo un adecuado control y mantenimiento de las fosas, escombrera y almacén.

Como primera instancia se requiere de la incorporación de dos tractores de oruga de envergadura similar a la de un Caterpillar D9R, donde un tractor debe enfocar sus esfuerzos durante las primeras horas de la mañana en apoyar principalmente al cargador frontal para la extracción de material mineralizado mediante el empuje de la mena desde cotas superiores hacia el frente de trabajo para que el Wa 470 tenga un fácil y seguro acceso al material volado, una vez culminadas las actividades extractivas del cargador frontal, el tractor de oruga debe proseguir sus actividades en la limpieza del frente de trabajo de la retroexcavadora PC 1250 o en los procesos de manutención de las vías, por otro lado el segundo tractor de oruga debe enfocar únicamente sus esfuerzos de producción en el mantenimiento y construcción de la escombrera. Asimismo, se necesita de la incorporación de una motoniveladora que se encuentre dentro de las dimensiones de un Komatsu GD-825 para el suavizado de las vías en conjunción con un camión cisterna que reduzca la emisión de polvo generada por el paso de los camiones roqueros. Igualmente, se requiere de la adquisición de equipos tales como un camión lubricador, un camión de combustible y un taller móvil que sirvan para el apoyo directo a las maquinarias de carga, acarreo y soporte, por medio de la recarga de sus materiales consumibles.

Entre otros *ítems* principales que obligatoriamente se necesitan para el adecuado desempeño de las actividades mineras está la incorporación de tres vehículos con tracción en sus cuatro ruedas que sirvan para el traslado de personal, donde un vehículo debe pertenecer a la superintendencia de mina para el seguimiento y control de las actividades, otro debe pertenecer al equipo de topografía y finalmente uno debe estar dirigido únicamente al desplazamiento de los maquinistas a su frente de trabajo. Además como se presenta en la tabla 36 se requieren de tres luminaria portátiles para iluminar de forma fija el área de la escombrera y de forma alterna los dos frentes de trabajo que se tengan en progreso. Asimismo, se requieren de al menos dos bombas hidráulicas una para Coacia y otra para Rosika que sirvan para el achique de las zonas anegadas. Como último aspecto es necesaria la adquisición de un sistema radio que permita la comunicación constante entre los trabajadores.

Tabla 36. Equipos mínimos necesarios para las actividades de soporte de mina

Cantidad	Equipo	Descripción
2	CAT D9R	Un tractor de oruga para escombrera y otro para apoyo en mina
1	Komatsu GD-825	Motoniveladora para mantenimiento de vías
1	Camión cisterna	Control de polvo mediante riego de vías
1	Camión lubricador	Soporte de consumibles
1	Camión de combustible	Soporte de consumibles
1	Camión de ANFO	Soporte de voladuras
1	Taller móvil	Soporte de equipos
3	Vehículos de traslado	Traslado de personal
3	Luminarias portátiles	Iluminación de frentes y escombrera
2	Bombas hidráulicas	Achique de Coacia y Rosika
1	Sistema de radio	Comunicación entre personal
1	Equipo topográfico	Levantamiento de fosas, escombrera y almacén

Fuente: CVM (2018) y editado por el autor

En la tabla 37 se muestra el conjunto de actividades llevadas a cabo de forma diaria para la primera semana de enero en función del equipo bien sea de producción o soporte, donde a su vez se especifica la producción requerida y la cantidad de camiones asignados por equipo de producción y el nivel de prioridad que tiene la actividad en cuestión.

Tabla 37. Actividades de producción diaria por equipo para la primera semana de enero

Equipo	Semana 1							Producción de Equipo (t/día)	Producción Requerida (t/día)	Asignación de Camiones	Prioridad
	Domingo 01/01	Lunes 02/01	Martes 04/01	Miércoles 05/01	Jueves 06/01	Viernes 07/01	Sábado 08/01				
PC1250	Avance en bloques 1,51 - 1,52 y 1,62			Culminación de avance en 1,51 - 1,52 - 1,62 e inicio de bloques 1,45 y 1,47		Continuación de avance en 1,45 y 1,47 e inicio con extracción de estéril en bloque 1,71		22.380	22.116	3 TR60	I
Wa470	Extracción de material para almacén en bloque 1,62			Extracción de material para almacén en bloques 1,45 y 1,47		Avance en bloques 1,45 y 1,47 para almacén y planta		9.137	5.492	1 TR60	II
D9R-1	Escombrera							-	-	-	I Operaciones Auxiliares
D9R-2	Soporte de vías y apoyo a equipo Wa470							-	-	-	
GD825	Limpieza de vía 1			Limpieza de vía 1 y 2		Limpieza de vía 2		-	-	-	
Cisterna	Riego de vía 1			Riego de vía 1 y 2		Riego de vía 2		-	-	-	

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la tabla 37 la retroexcavadora Komatsu PC-1250 debe enfocar sus operaciones desde el domingo hasta el martes únicamente en los bloques 1,51 – 1,52 y 1,62 para luego el día miércoles culminar la extracción del material restante en dichos bloques y dar cabida al inicio en las actividades extractivas de los bloques 1,45 y 1,47. Desde el día jueves hasta el sábado se requiere que la retroexcavadora finiquite sus actividades en los dos últimos bloques mencionados para posteriormente comenzar con la explotación del bloque 1,71. Se planifica que la PC-1250 arroje una producción diaria cercana a su tope permitido de 22.380 t por lo que se le deben asignar tres camiones roqueros para que logre dicha producción, cuya trayectoria de descarga de los equipos de acarreo alternan entre la escombrera y planta, con mayor frecuencia en el desplazamiento hacia la escombrera, también se recalca que las labores relativas a este equipo de carga tienen prioridad superior ante cualquier actividad realizada por otra maquinaria de producción.

Con respecto al equipo Wa 470 se planifica que desde el domingo hasta el martes éste centralice sus operaciones en el bloque 1,62 para extraer material mineralizado que debe ser

enviado netamente al almacén por parte del equipo de acarreo asignado a esta actividad, posteriormente para el miércoles y jueves se proyecta que el cargador frontal pueda extraer material mena en los bloques 1,45 y 1,47 que igualmente debe ser enviado directamente a las pilas de almacenamiento por el único camión roquero asignado a formar pareja con el Wa 470, finalmente para el viernes y sábado se estima que dicho equipo de carga continúe con las actividades extractivas de mineral en los bloques 1,45 y 1,47, cuyo material debe ser enviado tanto para la planta de procesamiento como para el almacén. Las actividades asignadas a este equipo tienen prioridad secundaria ya que tienen como directriz principal el manejo de material dirigido para el almacén, donde claramente el envío del material hacia la planta y la escombrera por parte de la PC 1250 presentan mayor importancia.

La producción diaria máxima solicitada para el cargador frontal es de 5.492 t, lo que representa apenas un 60 % de su capacidad máxima estimada, dicha producción solicitada no tiene una razón diaria constante si no que varía según la asignación del día. Todas estas actividades relativas al Wa 470 deben ser apoyadas con un tractor de oruga D9R como se menciona en párrafos anteriores, ya que las alturas de banco son superiores a la altura de elevación máxima de la hojilla del cargador, por lo que el tractor debe empujar el material en cotas superiores para que el cargador maneje el material volado de forma segura.

Con respecto a las actividades de soporte vial se estipula principalmente que la motoniveladora y el camión cisterna enfoquen sus esfuerzos desde el domingo hasta el martes en el alivio de la vía 1, para posteriormente el miércoles aplicar labores de adecuación vial en sectores de la vía 1 y partes de la vía 2. Finalmente, desde jueves hasta el sábado se estima que ambos equipos de soporte concentren sus esfuerzos únicamente en el mantenimiento de la vía 2.

En la figura 19 se presenta un esquema de la ubicación de las vías de acarreo utilizadas para la primera semana de enero, donde la vía 1 perteneciente a la fosa Coacia se encuentra en coloración verde y la vía 2 que sirve como enlace entre las fosas Rosika y Coacia se delimita en color azul.

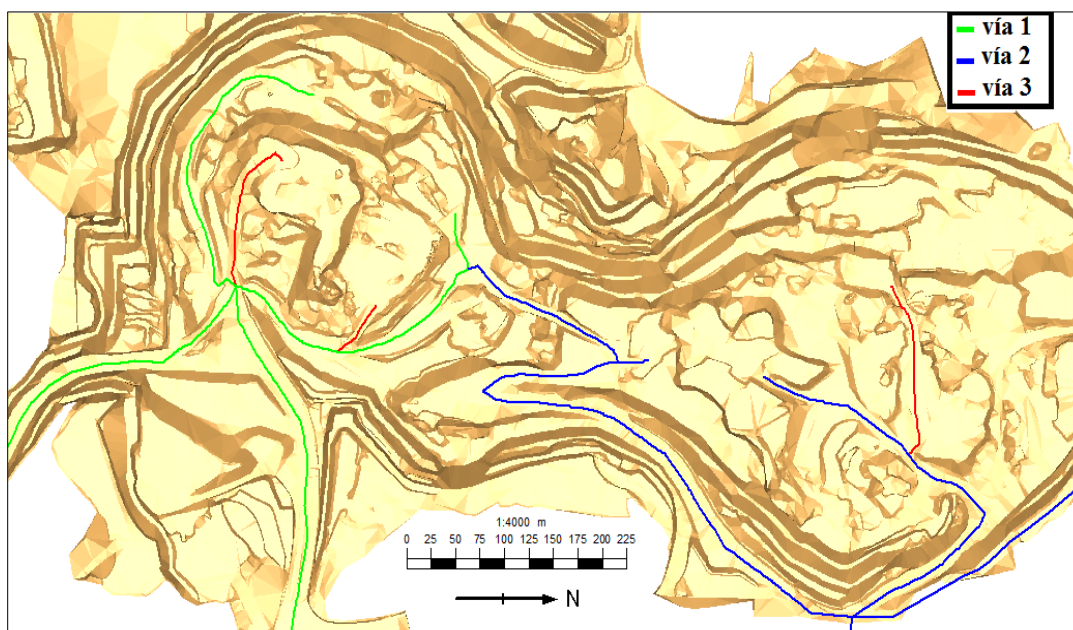


Figura 19. Identificación de las vías principales utilizadas en la primera semana de enero
Fuente: Elaboración propia

Las vías coloreadas en verde y azul evidencian los caminos utilizados para estimar la planificación, sin embargo, se cuentan con más caminos que facilitan la comunican entre las fosas Rosika y Coacia como se muestra por ejemplo en la vía 3 con tonalidad rojiza de la figura 19. Las vías que comunican a las fosas con la planta, escombrera y almacén son extrapoladas a partir de planos aportados por CVM (2018), por lo que la precisión correspondiente a las trayectorias y longitudes de estas vías se delimitan de forma conceptual intentando acercarse lo más posible a las dimensiones reales de las mismas.

En la tabla 38 se presenta un programa de producción detallado de las actividades extractivas correlativas a los equipos principales de carga que se desarrolla gracias al módulo de planificación manual de Datamine, donde por cada fila que especifica el día planificado se delimitan los bloques a extraer con sus horas estimadas de explotación, aunado al tonelaje proyectado por cada bloque y con su tenor específico, donde a su vez se menciona la destinación del material recuperado por parte del equipo de acarreo.

Tabla 38. Programa de producción detallado para la primera semana de enero

Semana 1						
Día	Bloque	Duración	Toneladas	Destino	Tenor	Equipo de Carga
Domingo 01/01	1,62	16:47	11.246	Escombrera	-	Komt1250
			4.204	Planta	1,15	
	1,51	0:30	470	Escombrera	-	
	1,52	6:41	6.005	Escombrera	-	
			182	Planta	0,87	
	1,62	1:50	1.076	Almacén	0,59	Wa470
Lunes 02/01	1,62	16:47	11.246	Escombrera	-	Komt1250
			4.204	Planta	1,15	
	1,51	0:30	470	Escombrera	-	
	1,52	6:41	6.005	Escombrera	-	
			182	Planta	0,87	
	1,62	1:50	1.076	Almacén	0,59	Wa470
Martes 03/01	1,62	16:48	11.244	Escombrera	-	Komt1250
			370	Planta	0,59	
			3.843	Planta	1,15	
	1,51	0:30	470	Escombrera	-	
	1,52	6:40	6.004	Escombrera	-	
			166	Planta	0,87	
	1,62	1:50	1.076	Almacén	0,59	Wa470
Miercoles 04/01	1,62	8:44	6.992	Escombrera	-	Komt1250
			1.037	Planta	0,59	
	1,51	0:18	292	Escombrera	-	
	1,52	4:03	3.734	Escombrera	-	
			5.950	Escombrera	-	
	1,45	9:46	3.111	Planta	1,29	
			791	Escombrera	-	
			225	Planta	1,35	
Jueves 05/01	1,45	13:26	8.352	Escombrera	-	Komt1250
			4.099	Planta	1,29	
	1,47	1:32	1.111	Escombrera	-	
			296	Planta	1,35	
	1,71	9:03	8.443	Escombrera	-	Wa470
	1,45	1:34	943	Almacén	0,63	
	1,47	0:15	154	Almacén	0,60	
Viernes 06/01	1,45	8:23	943	Almacén	0,63	Wa470
			4.099	Planta	1,29	
	1,47	0:44	154	Almacén	0,60	
		0:44	296	Planta	1,35	Komt1250
	1,71	19:12	17.906	Escombrera	-	
Sábado 07/01	1,45	6:43	671	Planta	0,63	Wa470
			3.372	Planta	1,29	
	1,47	0:35	109	Planta	0,60	
	1,47		243	Planta	1,35	
	1,45	1:34	943	Almacén	0,63	
	1,47	0:15	154	Almacén	0,60	
	1,71	19:12	17.906	Escombrera	-	Komt1250

Fuente: Elaboración propia

Para los días domingo (01/01), lunes (02/01) y martes (03/01) se estipula que la retroexcavadora Komatsu PC – 1250 inicie en el primer turno la explotación del bloque 1,62 hasta culminar las operaciones en dicho bloque finalizando el segundo turno del día, en dicho período se estima extraer un total de 11.246 t de estéril para ser enviado a la escombrera y una cuota de 4.204 t de mineral con tenor de 1,15 g/t que debe ser dirigido completamente a planta. En paralelo a las 6:00 am el cargador frontal Komatsu Wa – 470 debe realizar sus actividades extractivas en el bloque 1,62 con soporte de un tractor D9R, donde se debe recabar un total de 1.076 t de mineral que debe ser enviado al almacén, esta labor sólo tiene una duración estimada de casi dos horas que sirve para cumplir con la cuota diaria estipulada de almacenamiento mineral. El hecho de que se tengan dos frentes operativos en un mismo bloque no debe presentar inconvenientes en la factibilidad de la operación ya que la retroexcavadora puede trabajar en la cota del bloque mientras que el cargador frontal puede ejecutar la extracción en la cota meta de dicho bloque como se puede observar esquemáticamente en la figura 20. Finalmente, para todo el turno de la noche del día domingo se requiere que la PC1250 enfoque sus operaciones en los bloques 1,51 y 1,52, lo cual se estima que tengan en conjunto un lapso de explotación cercano a las siete horas que debe aportar principalmente estéril arrojando un total de 6.475 t y una cantidad moderada de roca mineralizada cercana a las 182 t con un tenor de 0,87 g/t aproximadamente.

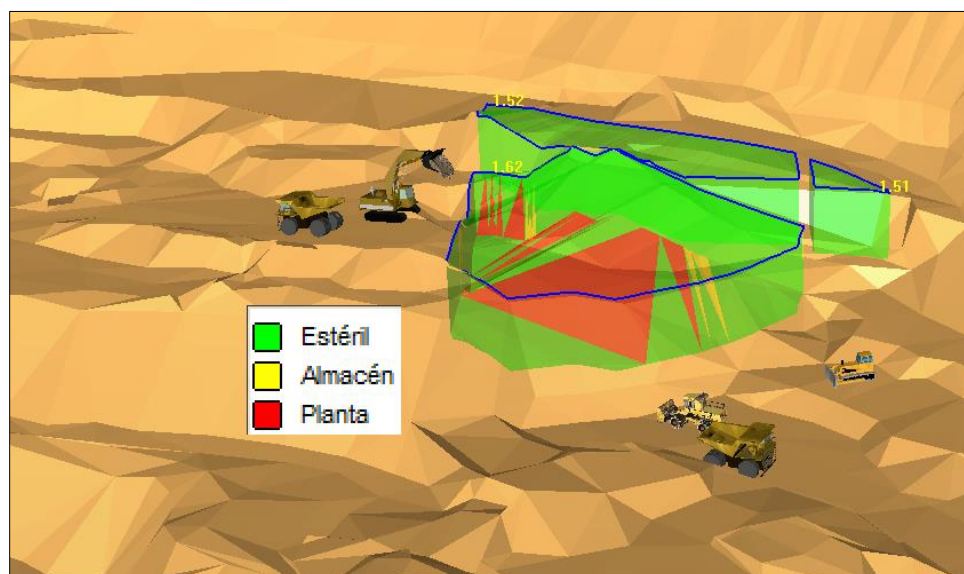


Figura 20. Esquema de explotación con dos frentes operativos en el bloque 1,62
Fuente: Elaboración propia

Para el día miércoles (04/01) se le asigna a la retroexcavadora que culmine las labores extractivas sobre el material restante de los bloques 1,62 – 1,51 y 1,52, cuya actividad se estima que tenga una duración cercana a las 13 horas abarcando los turnos de la mañana y tarde, en dicho lapso se proyecta una extracción de estéril cercana a las 11.000 t que debe ser enviando directamente a la escombrera y un total próximo a las 1.037 t de mena bajo un tenor de 1,3 g/t con destino a la planta de procesamiento.

Por otro lado, el cargador frontal tiene pautada la apertura de un nuevo frente de explotación en los bloques 1,45 y 1,47 a primera hora del turno de la mañana, donde se estima que en un lapso aproximado de dos horas se logre extraer un total de 1.097 t de mineral que debe ser enviado a las pilas de almacenamiento cuyo tenor estimado se encuentra cerca de los 0,6 g/t. Para el turno de la noche se espera que las labores de explotación se estén realizando únicamente por la PC1250 en los bloques 1,45 y 1,47 para alcanzar una recuperación de estéril y mena cercana a las 6.741 t y 3.336 t, respectivamente.

Con respecto al día jueves (05/01) se plantea que los equipos de carga enfoquen sus esfuerzos de explotación en los bloques 1,45 y 1,47, donde la retroexcavadora tiene proyectada una producción de 9.463 t de estéril por ser enviado a la escombrera y 4.395 t de mena con tenor de 1,3 g/t que debe ser depositado en la planta, esta labor planificada para la PC1250 tiene un lapso de duración estimado de 15 horas para ser desempeñado dentro de los dos primeros turnos de trabajo.

De forma paralela el cargador frontal debe iniciar sus actividades extractivas igualmente en los bloques 1,45 y 1,47 para extraer un total de 1.097 t que deben ser dirigidas al almacén bajo un tenor de 0,6 g/t, dicha labor tiene un lapso de duración estimado de dos horas aproximadamente, donde el formato de explotación propuesto para ambos equipos de carga en los mismos bloques se puede visualizar en la figura 21. Para el turno de la noche se estipula que la retroexcavadora focalice su faena productiva en el bloque 1,71 por un período de 9 horas aproximadamente, en el cual se pretenden alcanzar un total de 8.443 t de estéril que debe ser dirigido a la escombrera.

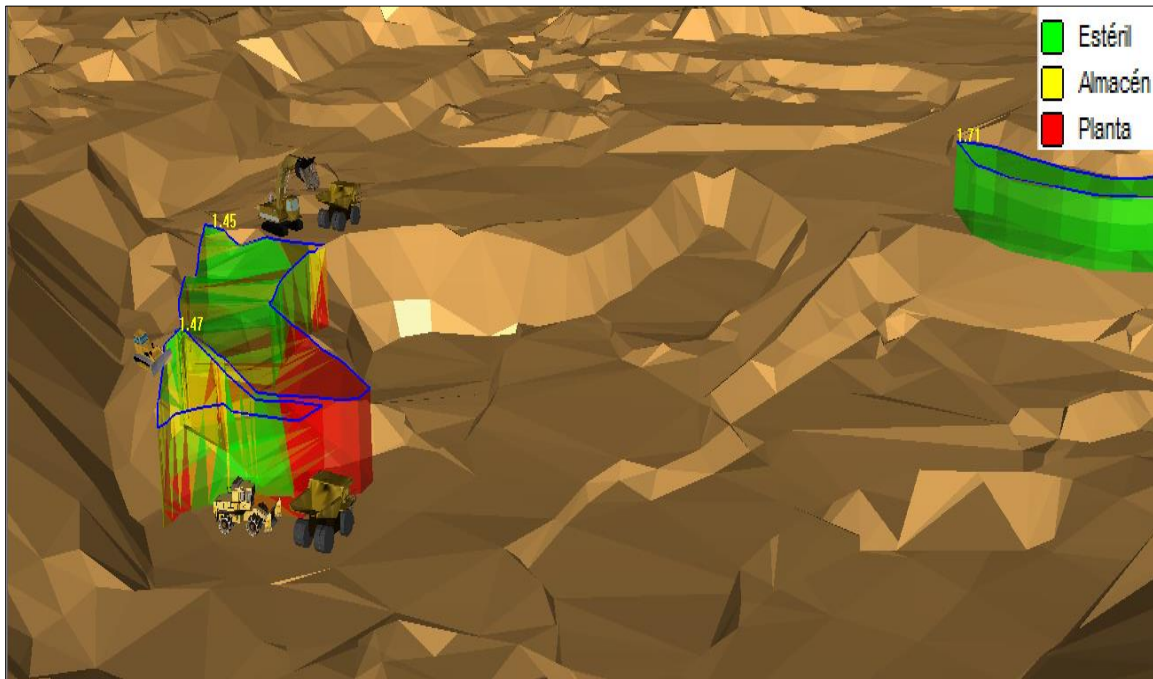


Figura 21. Esquema de explotación con dos frentes operativos en el bloque 1,45

Fuente: Elaboración propia

Finalmente para los días viernes (06/01) y sábado (07/01) se plantean dos frentes de explotación fijos por equipo de carga, donde la retro PC-1250 tiene una labor específica que consiste en extraer todo el material estéril restante del bloque 1,71, cuya duración promedio de la faena minera por cada uno de estos días es cercana a las 19 horas de trabajo, englobando los tres turnos diarios en sólo esa labor, de esta forma se estima una remoción diaria de estéril cercana a las 17.906 t.

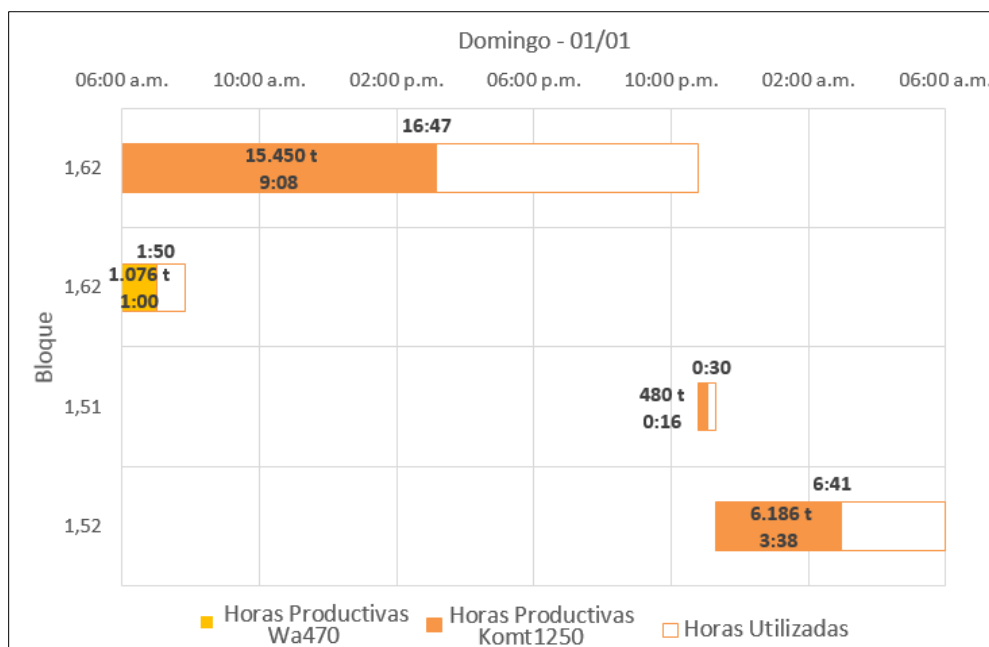
Por otro lado, el cargador frontal debe encarar todo el mineral mena restante de los bloques 1,47 y 1,45, tal como se esquematiza en la figura 22, por lo que se estima que el tiempo de explotación diario para dichos bloques por el Wa – 470 sea cercano a las 10 h abarcando todo el turno de la mañana y parte del de la tarde, cuya producción diaria de material para la planta metalúrgica sea próxima a las 4.395 t con una ley de 1,3 g/t y la producción correspondiente con el material de almacén sea cercano a las 1.097 t bajo un tenor de 0,6 g/t.



Figura 22. Esquema de avance para el viernes y sábado de la primera semana de enero
Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 14 se observa el rendimiento horario por bloque de los equipos de carga para el día domingo (01/01) que sirve como una generalización del comportamiento planificado para los equipos de carga durante la primera semana del mes en cuestión.

Dicha gráfica está estructurada en formato de diagrama de Gantt donde el lapso de tiempo abarcado se delimita mediante barras apiladas horizontales, cuyas barras vacías con borde naranja expresan el tiempo total empleado por el equipo según el bloque en extracción y las barras en tonalidad naranja o amarilla representan el tiempo productivo asociado al porcentaje de utilidad del equipo PC-1250 (naranja) o Wa-470 (amarillo).



Gráfica 14. Rendimiento horario de los equipos de carga para el primero de enero

Fuente: Elaboración propia

En dicha gráfica 14 se aprecia que al sumar cada uno de los tramos de las barras asociadas a la retroexcavadora se obtiene que el equipo fue utilizado durante todo el día en tres bloques distintos, donde inmediatamente al visualizar sus horas productivas por las barras anaranjadas se observa que el equipo de carga tiene un aprovechamiento cercano a la mitad de su período temporal con posibilidades de ejercer alguna actividad extractiva, lo que guarda correlación directa con su índice KPI principal denominado porcentaje de utilización que se encuentra dentro del 54,4 %. De forma subsiguiente, se aprecia que el cargador frontal es utilizado durante casi dos horas diarias debido a que está únicamente enfocado con las actividades relativas al almacenamiento de mineral en el *stock*, (salvo en los últimos días de la semana que posee actividades de producción directa), por lo que posee una producción igualmente cercana a la mitad de su tiempo utilizado como se ejemplifica con la barra amarilla, asimismo y de forma similar a la retroexcavadora se indica que presenta un porcentaje de utilización cercano al 54,4 %.

En la tabla 39 se pueden visualizar los tiempos acumulados de acarreo desempeñados por la flota de cuatro camiones Terex TR – 60 para la primera semana de enero en función del destino de traslado, donde se puede observar que diariamente se acumulan horas

relativamente similares para cada destino en cuestión, arrojando para la escombrera un rango entre 34 y 42 horas según el día, para la planta de procesamiento se cumulan unas horas diarias de traslado máximas de 10 horas y mínimas de cinco horas, mientras que para las pilas de almacenamiento se conjetura un desplazamiento constante de una hora diaria. Además se muestran los tiempos promedio de ciclo estimados para cada destino de acarreo donde para la escombrera se alcanza un tiempo de 0,21 horas por cada ciclo, lo que significa que el proceso de ida y vuelta desde el frente de explotación hasta la zona de deposición de material estéril dura un promedio de 12 minutos aproximadamente, con respecto a la planta y al almacén se presentan tiempos promedio de ciclos cercanos a los 0,19 y 0,09 respectivamente.

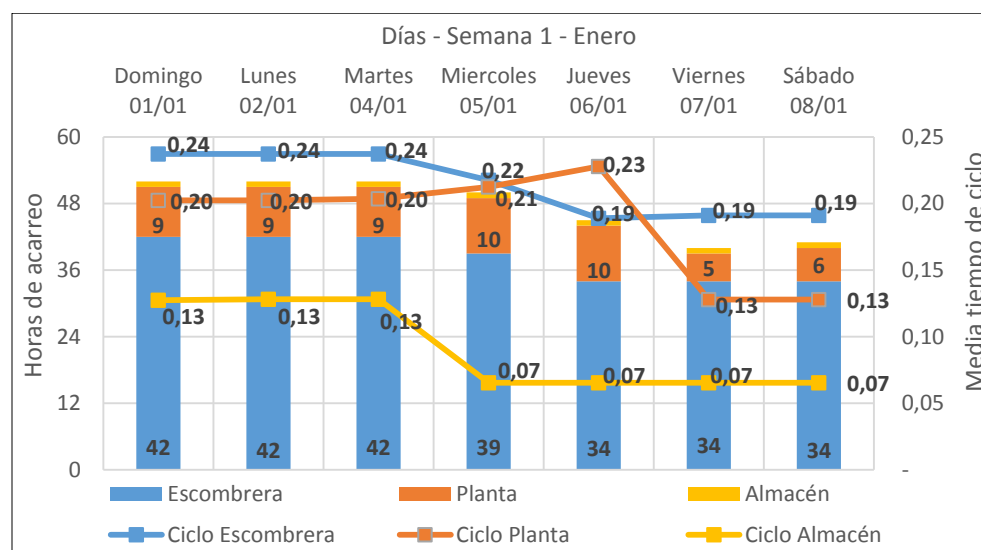
Tabla 39. Horas de acarreo diario por flotas de camiones según destino

Día	Horas de acarreo		
	Escombrera	Planta	Almacén
Domingo 01/01	42	9	1
Lunes 02/01	42	9	1
Martes 04/01	42	9	1
Miércoles 05/01	39	10	1
Jueves 06/01	34	10	1
Viernes 07/01	34	5	1
Sábado 08/01	34	6	1
Tiempos de ciclo	0,21	0,19	0,09

Fuente: Elaboración propia

De forma subsiguiente se presenta la gráfica 15 que delimita de forma visual los tiempos diarios estimados de acarreo para la flota de camiones mediante barras apiladas, cuyas columnas en coloración azul representan las horas sumadas de los cuatro camiones TR 60 empleadas para el transporte del estéril a la escombrera, donde se observa que para los últimos tres días los tiempos de acarreo y sus correlativos tiempos de ciclos (curva azul) son menores ya que las operaciones se condensan en la zona central de Rosika, la cual se encuentra más cerca a la escombrera que en contraposición con la zona Oeste de Coacia donde se desempeñan parte de las actividades los cuatro primeros días de la semana. Igualmente, se figuran las columnas naranjas que indican el tiempo estimado diario para la flota de camiones con destino a la planta de procesamiento, donde en la misma se observa

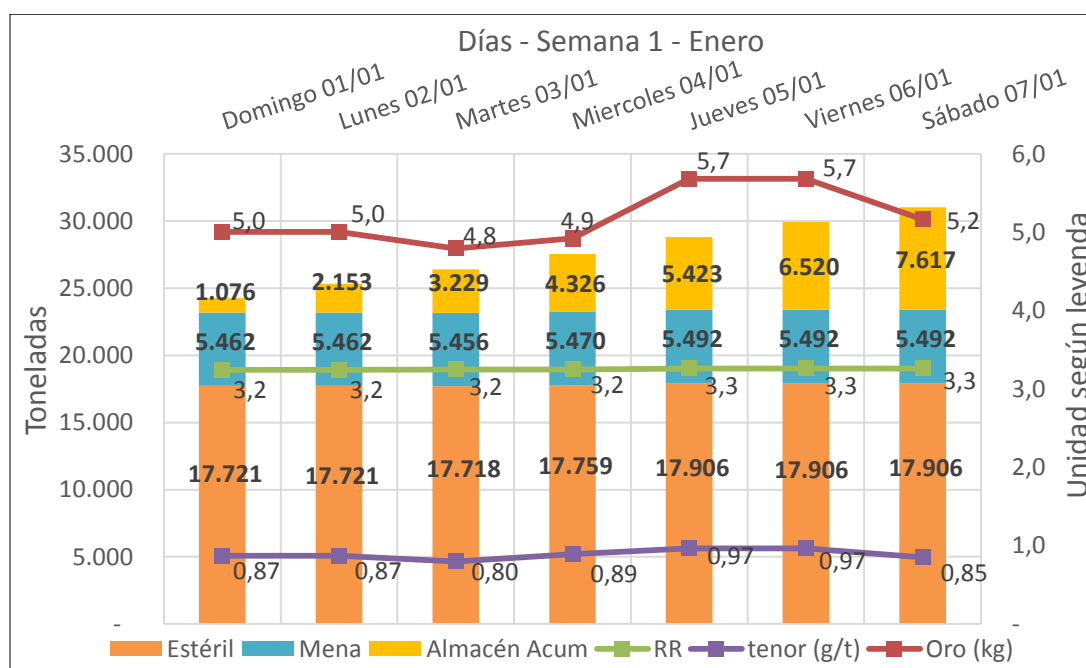
que para los últimos dos días los tiempos de ciclo (curva naranja) y sus consecuentes tiempos de acarreo son menores ya que para este par de días el cargador frontal tiene planificado un período de utilización durante todo el turno de la mañana, diferente a los días anteriores ya que dicho *back up* sólo se empleaba durante aproximadamente dos horas de la mañana, por lo que apoya a la retroexcavadora en el despacho de material mena a los camiones de acarreo lo que induce una agilización en los tiempos de ciclo conferidos con destino a la planta. Con relación al envío del material al almacén el análisis es similar a lo sucedido con el material estéril, ya que el mismo presenta una optimización en sus tiempos de ciclo para los últimos cuatro días de la semana por consecuencia de que los frentes extractivos se ubican en la zona central de Rosika que se encuentra muy cercana al almacén.



Gráfica 15. Rendimiento horario de la flota de camiones para la primera semana
Fuente: Elaboración propia

La gráfica 16 representa un resumen de la productividad diaria brindada por la tabla 38 para cada uno de los días inherentes a la primera semana del mes de enero, donde la misma expresa mediante columnas verticales apiladas la cantidad total de estéril y mena planificados para su extracción diaria en colores naranja y azul, respectivamente, donde en promedio se observa que la cantidad de estéril diario programado para su extracción representa un monto cercano a las 17.700 t y la cantidad de mena estimada se encuentra dentro del rango de las 5.400 t. Asimismo, se representa la cantidad de roca mineralizada acaparada en las pilas de almacenamiento mineral mediante barras amarillas, donde el aporte diario de este tipo

material se encuentra dentro del rango de las 1.000 t, correspondiente con una fracción cercana al 25 % de la columna mena, cuyo 75 % restante debe ingresarse directamente a la planta de procesamiento metalúrgico. Además, se representan las curvas asociadas al tenor, oro procesado y RR diario, que en promedio arrojan valores de 0,9 g/t, 5,2 kg y 3,3 respectivamente.



Gráfica 16. Rendimiento productivo diario para la primera semana de enero
Fuente: Elaboración propia

En líneas generales se puede apreciar en la gráfica 15 que las decisiones tomadas en el corto plazo con relación al orden extractivo de los bloques permiten generar rendimientos productivos relativamente constantes en el tiempo que pueden servir de fácil seguimiento para su ejecución en el campo de trabajo. Asimismo, teniendo a disposición este conjunto de estimaciones le permiten al planificador comparar los resultados obtenidos en el campo con las proyecciones realizadas, para de esta forma observar en qué puntos se está fallando durante la ejecución de la explotación y posteriormente aplicar los ajustes correctivos de manera que no se afecte fuertemente el logro de las metas estipuladas por el mediano plazo, acción que resultaría más difícil en comparación con la ausencia de datos estimados para el corto plazo.

5.7. Flujograma heurístico de planificación operativa a mediano y corto plazo

A continuación se presentan un conjunto de diagramas de flujo vinculados que tienen la intención de resumir los pasos generales para realizar una planificación operativa a mediano y corto plazo. Estos diagramas se componen básicamente por seis tipos de casillas de decisión y flechas de enlace que dirigen el orden de lectura del flujograma, el primer tipo de casilla es de forma rectangular con bordes circulares que puede indicar tanto el inicio como el fin del flujo, donde aquella con fondo en coloración azul indica el comienzo del circuito y la de tonalidad verde revela la finalización del mismo.

Las casillas con forma de rombo simbolizan un punto de decisión, cuya respuesta de salida siempre está en función de una afirmación o una negación que ramifica el flujo en dos partes, donde las asociadas a la rama de negación por lo general representan una medida que obliga al retroceso del diagrama, mientras que las relativas a la rama de afirmación permite la continuación regular del flujo. Por otro lado se encuentran las casillas rectangulares que indican una acción o proceso, el cual al ser ejecutado permite avanzar hacia el siguiente proceso mediante una sola dirección de flujo. Asimismo, se despliegan unas casillas hexagonales que representa un símbolo de preparación, el cual exige la realización de un ajuste en el proceso antes continuar con la secuencia normal del flujo.

Se exhiben también tres tipos de casillas especiales, donde aquella en forma de rectángulo con marcos laterales representa un proceso predefinido que no se detalla en el diagrama sino que se explica con profundidad en el marco metodológico. Otra casilla especial está representada por una especie de superficie curva que indica un paso donde se deben almacenar los datos, y por último se presenta un símbolo circular con tonalidad amarilla que indica la presencia de un conector, por lo que se debe continuar la lectura del flujograma en otro diagrama donde se haya colocado el mismo símbolo.

En la figura 23 se aprecia la primera sección del diagrama propuesto, el cual hace alusión a los pasos principales que se deben llevar a cabo para concretar una planificación a mediano plazo.

La casilla de apertura al diagrama se encuentra en coloración azul, la cual indica que primeramente se debe hacer un análisis e interpretación adecuada de la planificación a largo para recopilar las cantidades anuales de oro, estéril y mena estipuladas a alcanzar en función de las capacidades de los equipos definidos. Asimismo, se hace énfasis en los procesos de delimitación, ubicación y ordenamiento de los bloques de producción sobre la topografía de las fosas ya que en conjunto representan el factor clave que aporta de rentabilidad a las operaciones mineras relativas al mediano y corto plazo.

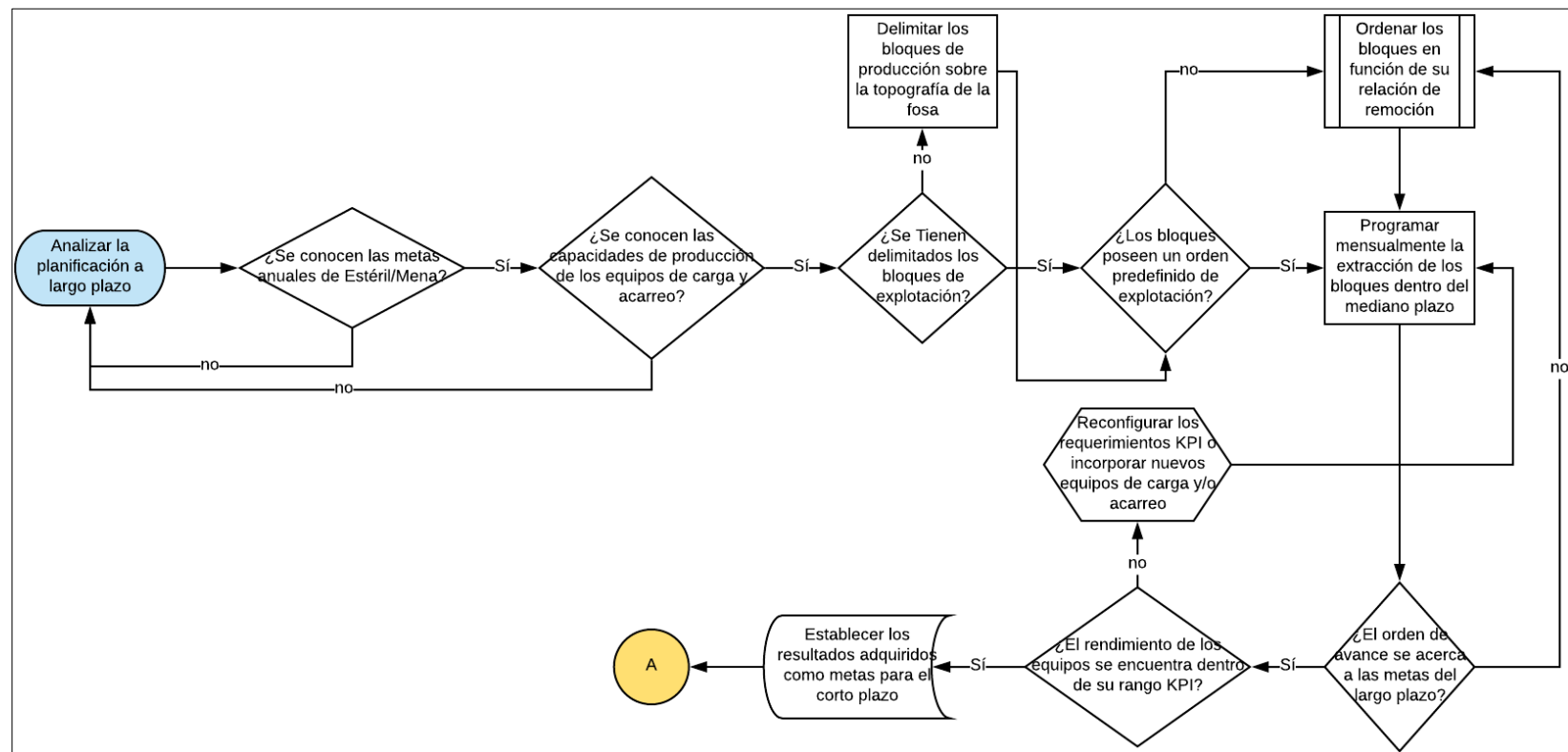


Figura 23. Flujograma heurístico de planificación operativa a mediano y corto plazo (Parte I)

Fuente: Elaboración propia

De forma subsiguiente se observa la figura 24 que complementa los pasos estipulados por la figura 23, esta segunda sección pretender hacer alusión a los pasos correspondientes para el desarrollo de un plan a corto plazo. La línea de procesos del presente flujo hace énfasis en la configuración de sub-grupos de bloques que permitan definir diariamente las direcciones de avance y la cantidad de frentes operativos para obtener las adecuadas recuperaciones de oro, estéril y mena que se acerquen a la meta del mediano plazo. Además, se vuelve a exigir el estudio de los parámetros KPI de los equipos de carga y acarreo en este caso a nivel diario, aunado al análisis de la factibilidad operativa incorporando la presencia de equipos auxiliares o de soporte de mina.

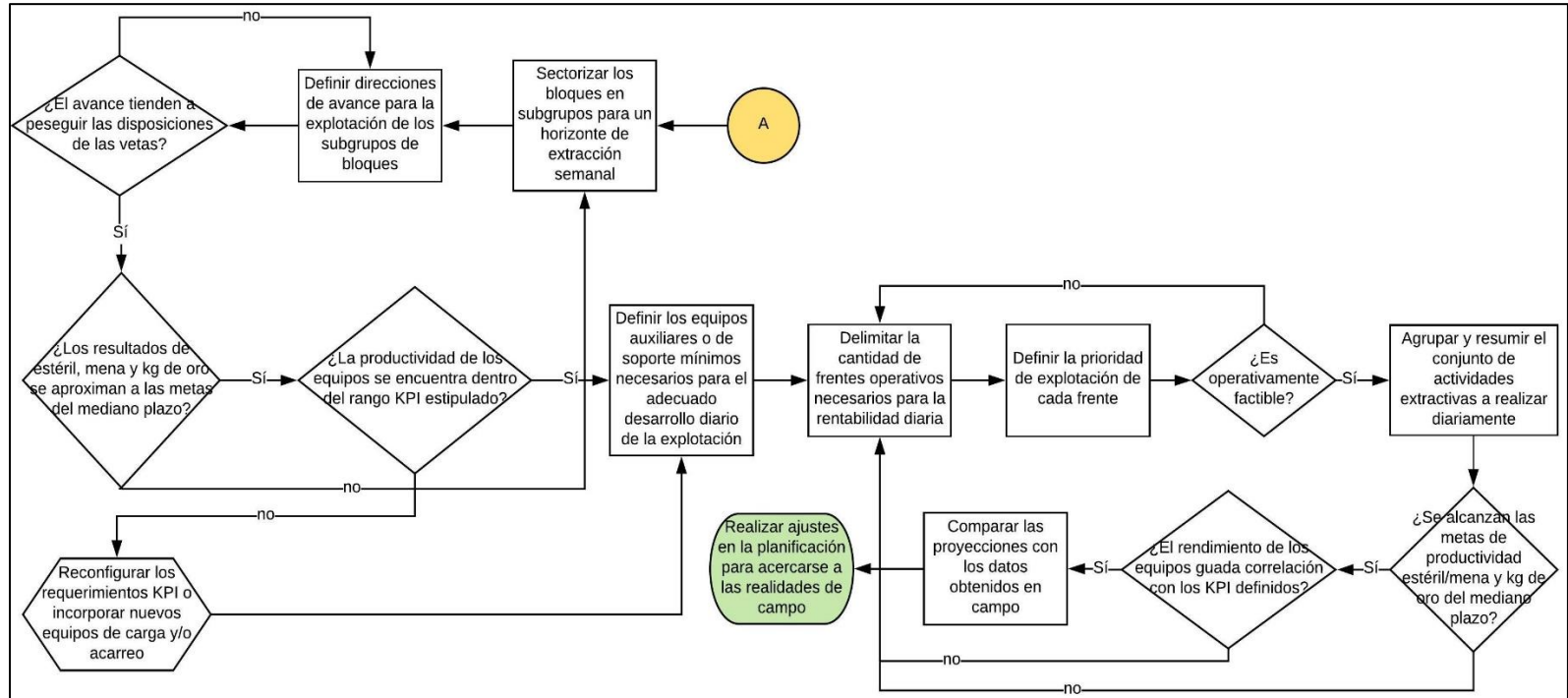


Figura 24. Flujograma heurístico de planificación operativa a mediano y corto plazo (Parte II)

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

- El desarrollo de una planificación operativa a corto y mediano plazo está estrechamente vinculado con las directrices aguas arriba de la planificación estratégica y su subsecuente planificación operativa a largo plazo, donde la estratégica busca resguardar principalmente los intereses económicos de la empresa en cuestión, mientras que la tríada de planificaciones operativas (largo, mediano y corto plazo) persigue alcanzar la factibilidad extractiva dentro del rango económico establecido para diferentes horizontes temporales.
- Para estructurar adecuadamente una planificación operativa a corto y mediano plazo se debe tener “a la mano” una planificación a largo plazo, que brinde tanto las capacidades productivas de los equipos disponibles como las tasas extractivas de estéril y mena solicitadas por la empresa al menos de forma anual, de manera que se puedan desglosar dichas tasas y capacidades en requerimientos mensuales, semanales y diarios, estimando escenarios productivos con un alto nivel de detalle.
- La delimitación, ubicación y jerarquización de los bloques de producción representan parámetros de gran importancia al momento de estructurar una planificación a mediano y corto plazo, ya que dependiendo de cómo se siga el orden extractivo de cada uno de los bloques la planificación puede pasar de ser rentable a completamente improductiva.
- Se toman en consideración tres macro-criterios principales para definir los avances extractivos a través de los bloques de producción, denominados como: factibilidad operativa, variables económicas e índices claves de producción (KPI), donde el primero hace alusión al aspecto dimensional correspondiente entre los equipos disponibles y los espacios de trabajo que deben estar en concordancia para asegurar faenas mineras posibles. El segundo macro-criterio se deriva de las variables RR (4:1), tenor medio ($> 1\text{g/t}$) y *cut off* (0,5 g/t) que permiten discernir con un alto nivel

de detalle las partes de los bloques que deben ser explotadas en su determinado momento. Finalmente el último criterio correlativo a los KPI permite estipular las capacidades reales de los equipos de producción para así sincerar los horizontes temporales de explotación por bloque.

- Las estimaciones a mediano plazo realizadas para un horizonte de planificación trimestral dentro del primer año se acercan casi en un 100 % a las metas de estéril, mena y kilogramos de oro pautados por la planificación a largo plazo con unas diferencias de ± 5 %, lo que indica que los requerimientos “gruesos” de producción exigidos por el largo plazo siguen siendo factibles luego de analizarse con mayor detalle. Sin embargo, se aprecia que para lograr las metas concertadas se debe aumentar el porcentaje de utilización de los camiones Terex TR 60 en un 2 %.
- Debido a que para los primeros tres meses del año la pluviosidad en el Callao tiende en promedio a ser casi nula, se obvia la cuantificación relativa a las pérdidas de tiempo en la producción por causa de la lluvia.
- La modificación topográfica efectuada para el primer trimestre del año propone la eliminación de la rampa que enlaza a las fosas Rosika y Coacia debido a que se ubica en una zona requerida por el largo plazo para su extracción, consecuencia de encontrarse sobre material mineralizado de buen tenor. Asimismo, se plantea la creación de una rampa temporal al Sureste de Rosika que pueda mantener en operatividad la salida Sur luego de los avances extractivos en dicha zona.
- La planificación a mediano plazo bajo un enfoque mensual permite comprar dos formatos de explotación con distintos seguimientos en el avance de sus bloques productivos, donde un formato persigue un orden de grupo de bloques (GB) A-B-C y el otro formato se rige bajo un esquema de GB 1-7. La metodología llevada a cabo por el orden de explotación GB 1-7 presenta a mediano plazo un mejor rendimiento en la recuperación y almacenamiento de mena, kilogramos de oro y estéril que en contraposición con el formato A-B-C, ya que la relación A-B-C/1-7 de la producción

para los tres primeros meses presenta en promedio unas diferencias porcentuales cercanas al 30 % que evidencian una optimización inherente al orden de los grupos de bloques 1-7.

- Jerarquizar los bloques de producción en función de su relación de remoción (RR) de manera ascendente permite visualizar rápidamente cuáles son los bloques con mayor y menor aprovechamiento económico, lo que a su vez facilita la combinación de éstos mediante tríadas de bloques que se encuentren dentro del rango $RR < 4$ para conformar así secuencias de explotación que brinden de rentabilidad a las actividades de producción de la mina.
- La planificación semanal correlativa al corto plazo se enfoca en concretar las cantidades de estéril y mena requeridas para la semana, brindando las direcciones de avance por bloque de manera que se sigan en mayor medida las vetas mineralizadas, al mismo tiempo que se indican las actividades que tienen prioridad sobre otras. Además se evalúan los rendimientos teóricos de los equipos principales de carga y acarreo, los cuales se encuentran dentro del rango estipulado de utilización ($\leq 54,4$ %) para alcanzar efectivamente las metas productivas.
- La planificación diaria correspondiente al corto plazo se encarga de priorizar cada una de las actividades a desempeñar por los equipos de producción y soporte de mina, de manera que los equipos auxiliares alivien los frentes de avance y las vías principales para el adecuado rendimiento de las labores de carga y acarreo. Asimismo a través del *software* Datamine, se especifica el tiempo de duración que cada equipo de carga debe ejecutar por bloque de forma diaria, permitiendo obtener la estimación de estéril y mena con un mayor nivel de detalle.
- El flujograma propuesto es un resumen breve del conjunto de “pasos guía” que se pueden seguir para concretar los parámetros mínimos necesarios en la estructuración de una planificación concerniente al estadio temporal del corto (diario – semanal) y mediano plazo (mensual – trimestral).

RECOMENDACIONES

- En caso de presentarse con la nula existencia de metas estratégicas o planificaciones a largo plazo se propone definir los objetivos de explotación netamente en función de las capacidades productivas los equipos disponibles de carga, acarreo y procesamiento.
- Se recomienda la utilización de la relación de remoción (RR) como parámetro depurador principal al momento de otorgar una jerarquía a los bloques de producción según su importancia económica.
- El análisis del KPI relativo al porcentaje de disponibilidad mecánica se propone que debe incorporarse en las planificaciones a mediano y corto plazo para realizar estimaciones mucho más realistas en caso de que los equipos de producción presenten fallas mecánicas de forma constante.
- A pesar de que la planificación se ejecute en períodos de baja pluviosidad se recomienda igualmente la estimación de posibles pérdidas de tiempo en la producción asociadas a días con alta intensidad de lluvia, ya que se debe considerar el factor del cambio climático que induce incertidumbre en las estimaciones meteorológicas.
- Para consumir escenarios de estimación aún más precisos, se deben programar a detalle las actividades relativas a la perforación, voladura y control de tenor ya que forman parte inicial de la cadena de procesos de producción.
- Se recomienda la creación de una tabla comparativa entre los datos estimados y los obtenidos en campo, de manera que permita dilucidar el rendimiento de los equipos y las deficiencias de las proyecciones para posteriormente hacer las adecuaciones respectivas.

BIBLIOGRAFÍA

Artigas, M. (2011), “Diseño de patrones de perforación y voladura, para normalizar la fragmentación del material resultante de la Mina Choco 10, Empresa PMG S.A. El Callao, Estado Bolívar”, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Castillo, L. (2009), “Modelos de optimización para la planificación minera a cielo abierto”, Tesis de Grado, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago de Chile.

Corporación Venezolana de Minería (2018), “Reporte de actualización del modelo Choco 10_RCP”, Venezuela, Caracas.

Corporación Venezolana de Minería (2018), “Maquinaria utilizada en las operaciones de Choco 10”, Venezuela, Caracas.

Gomez, B. (2013), “Selección del diseño óptimo en función de parámetros operativos empleando herramientas informáticas para una cantera de metacaliza de uso industrial”, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Jofré, P. (2012), “Validación herramienta de optimización VMM-BOS2, en área de planificación mediano-corto plazo, en Compañía Minera Cerro Colorado”, Tesis de Grado, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago de Chile.

Koen, B. (1985), “El método de ingeniería”, Colombia: Universidad del Valle

Melo, Y. (2016), “Propuesta metodológica para la planificación de soporte de mina, en Canteras del Distrito Capital”, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Monjo, R. (2008), “El índice n de la precipitación intensa”, Departamento de Física de la Tierra y Termodinámica, Universidad de Valencia, España.

Morales, J. (2010), “Diseño de las secuencias de explotación de la Mina Capia, Choco 4 en la Empresa Promotora Minera de Guayana, El Callao, Estado Bolívar, Agosto – Septiembre 2010”, Informe de Pasantía, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Recalde, E. (2007). “Metodología de planificación a corto plazo y diseño minero a mediano plazo en la Cantera Pifo”, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador, Guayaquil.

Rubio E. (2006). "Block cave mine infrastructure reliability applied to production planning". Tesis Doctoral. Vancouver, Canadá. Universidad de Columbia Británica. Facultad de Estudios de Postgrado (Ingeniería de Minas).

Plá, F. et al. (2001). “Curso de evaluación y planificación minera”, Cátedra de Laboreo de Minas, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Universidad Politécnica de Madrid, España.

Statzewitch, J. (2017), “Propuesta de planificación a largo plazo para la mina choco 10, en el bloque Guasipati – El Callao, Municipio El Callao, Estado Bolívar, periodo 2017-202”, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Vargas, M. (2011), “Modelo de planificación minera de corto y mediano plazo incorporando restricciones operacionales y de mezcla”, Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago de Chile.