



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS

Simulación de secuencia de minado “Proyecto “Najayo”

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN MINAS

Autor:

FELIPE MARTÍN ORTEGA RAMÍREZ

Director:

FERNANDO TULIO VALENCIA GUARICELA

Codirector:

OSCAR IVÁN SAAVEDRA GOMEZ

CUENCA, ECUADOR

2017

DEDICATORIA

Este trabajo de graduación va dedicado a mis padres Jorge y Beatriz, pilares fundamentales a lo largo de mi vida estudiantil y personal, personas que me han inculcado los valores necesarios, los cuales me han ayudado para salir de momentos difíciles

A mis hermanas Valeria y Paula, que son la alegría de mi vida cada día.

A mis amigos del curso, en especial a Karina, Daniel y Santiago, ustedes hicieron que la universidad no solo sea exámenes y calificaciones.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad del Azuay y a sus profesores por transmitirme los conocimientos necesarios para ejercer de la mejor manera la ingeniería que escogí y que tanto me gusta. De igual manera a la Universidad Nacional de Colombia por su ayuda y colaboración en la elaboración de este trabajo de graduación. Agradezco al Ing. Oswaldo Bustamante, Ing. Oscar Saavedra y a la Ing. Melisa Ramírez por su ayuda tan importante, ya que sin ellos este trabajo no se hubiera realizado. A la empresa Soluciones en Geología y Minería S.A.S. la cual me brindó la información necesaria para la realización de esta tesis.

Y por último gracias a Dios, que me ofreció lo necesario y a las personas justas e indicadas.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	4
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	5
1.1. Introducción.....	5
1.2. Minería y términos relacionados	5
1.3. Métodos de minería a cielo abierto	7
1.3.1. Tipo de Yacimiento	7
1.3.1.1. Forma	8
1.3.1.2. Relieve del terreno superficial	8
1.3.1.3. Proximidad a la superficie.....	8
1.3.1.4. Inclinación.....	9
1.3.1.5. Complejidad	10

1.3.1.6.	Distribución del material.....	10
1.3.1.7.	Roca dominante.....	11
1.3.2.	Métodos de minería a cielo abierto.....	11
1.3.2.1.	Cortas	11
1.3.2.2.	Descubiertas	12
1.3.2.3.	Terrazas	13
1.3.2.4.	Contorno.....	14
1.3.2.5.	Canteras.....	15
1.3.2.6.	Graveras	16
1.4.	Elementos de una mina.....	17
1.4.1.	Bermas de seguridad.....	18
1.4.2.	Ángulo de talud de la pared del banco.....	19
1.4.3.	Ángulo de talud inter-rampas	19
1.4.4.	Ángulo de talud en un conjunto de bancos	19
1.4.5.	Ángulo de talud total.....	20
1.5.	Secuencia minera.....	20
1.6.	Conclusiones	22
CAPÍTULO II: DATOS DE ENTRADA		24
2.1	Introducción.....	24
2.2	Recopilación de datos de entrada	24
2.2.1.	Información de entrada que no requiere análisis	25
2.2.1.1.	Poblaciones cercanas.....	26
2.2.1.2.	Accesos al proyecto.....	26

2.2.1.3.	Días laborables y no laborables.....	26
2.2.2.	Información de entrada que requiere análisis	26
2.2.2.1.	Modelo geológico.....	27
2.2.2.1.1.	Topografía	27
2.2.2.1.2.	Modelo geológico.....	30
2.2.2.1.3.	Modelo de Bloques.....	33
2.2.2.2.	Objetivos de Calidad.....	34
2.2.2.3.	Requerimientos de producción.....	36
2.2.2.4.	Maquinaria	37
2.2.2.5.	Costos.....	39
2.2.2.6.	Geometría final.....	40
2.3.	Análisis de la información de entrada	41
2.3.1	Topografía.....	41
2.3.2.	Litología.....	42
2.3.3.	Calidad	44
2.3.4.	Producción y maquinaria	45
2.4.	Conclusiones	46
 CAPÍTULO III: SIMULACIÓN EN SURPAC® Y MINESCHED®.....		47
3.1	Introducción.....	47
3.2	Surpac®	47
3.2.1	Modelo de bloques.....	48
3.2.2.	Perfiles	50
3.2.3.	Atributos	50

3.2.3.1.	Agregados	51
3.2.3.2.	Material para caliza de adición	51
3.2.3.3.	Caliza de clinker.....	51
3.2.4.	Restricciones.....	52
3.3	Minesched®	56
3.4	Resultados	57
3.5	Conclusiones	62
CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS		64
4.1.	Introducción.....	64
4.2.	Comparaciones	64
4.2.1.	Cantidad.....	64
4.2.1.1.	Agregados	64
4.2.1.2.	Caliza para adición.....	67
4.2.1.3.	Caliza para clinker.....	70
4.2.2.	Calidad	72
4.2.2.1.	Agregados	73
4.2.2.2.	Caliza para adición.....	76
4.2.2.3.	Caliza para clinker.....	79
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		83
BIBLIOGRAFÍA.....		86
ANEXOS		87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Explotación por método de cortas.	12
Figura 1.2. Explotación por método de descubiertas.	13
Figura 1.3. Explotación por método de terrazas.	14
Figura 1.4. Mina en donde se explotó por el método de contorno.	15
Figura 1.5. Cantera de mármol.	16
Figura 1.6. Método de cantera.	16
Figura 1.7. Gravera.	17
Figura 1.8. Bermas.	18
Figura 1.9. Bermas de seguridad sosteniendo material de deslizamiento.	19
Figura 1.10. Elementos de una mina a cielo abierto.	20
Figura 1.11. Fases de explotación. Secuencia de explotación.	22
Figura 2.1. Tipos de información de entrada.	25
Figura 2.2. Topografía del terreno.	28
Figura 2.3. Topografía del área de interés.	29
Figura 2.4. Modelo de la topografía del terreno.	30
Figura 2.5. Litología del área de interés.	32
Figura 2.6. Perfiles geológicos.	33
Figura 2.7. Modelo de bloques del área de interés.	34
Figura 2.8. Geometría final.	41
Figura 2.9. Topografía del área de interés.	42
Figura 2.10. Perfiles litológicos.	43
Figura 2.11. Concentración de CaCO_3	45
Figura 2.12. Concentración de CaCO_3 en perspectiva.	45
Figura 3.1. Distribución de modelo de bloques.	49
Figura 3.2. Modelo de bloques, clasificado por tipo de material.	52
Figura 3.3. Modelo de bloques sin restricciones.	53
Figura 3.4. Restricción de bloques dentro de la geometría final del pit.	54
Figura 3.5. Restricción de bloques de agregados.	54
Figura 3.6. Restricción de bloques de adición.	55

Figura 3.7. Restricción de bloques de clinker.	55
Figura 3.8. Material removido.	59
Figura 3.9. Toneladas extraídas acumulando todos los períodos.....	60
Figura 4.1. Comparación de cantidad de material removido - agregados (en columnas).	66
Figura 4.2. Comparación de cantidad de material removido - agregados (lineal).	66
Figura 4.3. Comparación de cantidad de material removido - caliza adición (columnas).	69
Figura 4.4. Comparación de cantidad de material removido - caliza adición (lineal).	69
Figura 4.5. Comparación de cantidad de material removido - caliza clinker (columnas).	71
Figura 4.6. Comparación de cantidad de material removido - caliza clinker (lineal).	72
Figura 4.7. Calidades de agregados. Alúmina.....	73
Figura 4.8. Calidades de agregados. Carbonato de calcio.....	74
Figura 4.9. Calidades de agregados. Cal.	74
Figura 4.10. Calidades de agregados. Óxido de hierro.	75
Figura 4.11. Calidades de agregados. Sílice.	75
Figura 4.12. Calidades de caliza de adición. Alúmina.....	77
Figura 4.13. Calidades de caliza de adición. Carbonato de calcio.....	77
Figura 4.14. Calidades de caliza de adición. Cal.	78
Figura 4.15. Calidades de calza de adición. Sílice.....	78
Figura 4.16. Calidades de caliza de clinker. Alúmina.....	79
Figura 4.17. Calidades de caliza de clinker. Carbonato de calcio.....	80
Figura 4.18. Calidaes caliza de clinker. Cal.....	80
Figura 4.19. Calidades de caliza de clinker. Óxido de hierro.	81
Figura 4.20. Calidades de caliza de clinker. Sílice.	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Objetivos de calidad - adición.....	35
Tabla 2.2. Objetivos de calidad de caliza - crudo.	36
Tabla 2.3. Requerimientos de producción.....	37
Tabla 2.4. Maquinaria actual.....	38
Tabla 2.5. Maquinaria para el aumento de producción.	38
Tabla 2.6. Costos de operación.	39
Tabla 2.7. Costos de operación actualizados.	40
Tabla 3.1. Atributos de los bloques.....	48
Tabla 3.2. Objetivo de producción requerida por períodos.....	58
Tabla 3.3 Producción por períodos resultado de la simulación.	61
Tabla 3.4. Objetivo de calidades.	62
Tabla 3.5. Resultado de calidades de la simulación.....	62
Tabla 4.1. Comparación de cantidad de material removido - agregados.	65
Tabla 4.2. Comparación de cantidad de material removido - caliza adición.	68
Tabla 4.3. Comparación de cantidad de material removido - caliza clinker.....	71

ÍNDICE DE ANEXOS

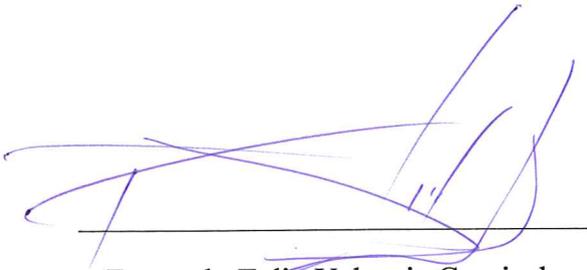
Anexo 1. Perfil y cortes en planta de CaCO_3	88
Anexo 2. Perfil y cortes en planta de Al_2O_3	89
Anexo 3. Perfil y cortes en planta de Fe_2O_3	90
Anexo 4. Perfil y cortes en planta SiO_2	91
Anexo 5. Perfil y cortes en planta de CaO	92
Anexo 6. Reporte de calidad cada 10 metros.	93
Anexo 7. Reporte de calidades cada 10 metros, clasificado por el tipo de material.	94
Anexo 8. Reporte de calidades, clasificado por materiales.	99
Anexo 9. Inicio del primer período en la secuencia minera.	100
Anexo 10. Inicio del segundo período en la secuencia minera.	101
Anexo 11. Inicio del tercer período en la secuencia minera.	102
Anexo 12. Inicio del cuarto período de la secuencia minera.	103
Anexo 13. Inicio del quinto período de la secuencia minera.	104
Anexo 14. Inicio del sexto período de la secuencia minera.	105
Anexo 15. Inicio del sétimo período de la secuencia minera.	106
Anexo 16. Inicio del octavo período de secuencia minera.	107
Anexo 17. Inicio del noveno período de la secuencia minera.	108
Anexo 18. Inicio del décimo período de la secuencia minera.	109
Anexo 19. Finalización de la secuencia minera.	110

SIMULACIÓN DE SECUENCIA DE MINADO “PROYECTO “NAJAYO”

RESUMEN

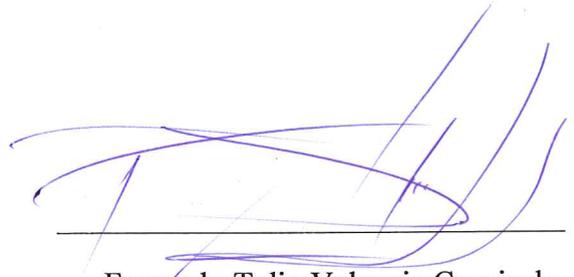
El objetivo de este proyecto de graduación es generar la simulación de secuencia de minado del Proyecto “Najayo”, una mina de caliza. Para esto, fue indispensable la capacitación en el manejo de programas informáticos especializados en minería como son Surpac® y Minesched®, los cuales fueron aplicados en el desarrollo de la secuencia minera. La empresa Soluciones en Geología y Minería S.A.S., fue la encargada de realizar la planificación de esta mina. Por lo tanto, al finalizar, los resultados de este trabajo serán contrastados y comparados con aquellos obtenidos por esta empresa.

Palabras Clave: Secuencia, simulación, programa, Minesched®, Surpac®, planificación.



Fernando Tulio Valencia Guaricela

Director del Trabajo de Titulación



Fernando Tulio Valencia Guaricela

Coordinador de Escuela



Felipe Martín Ortega Ramírez

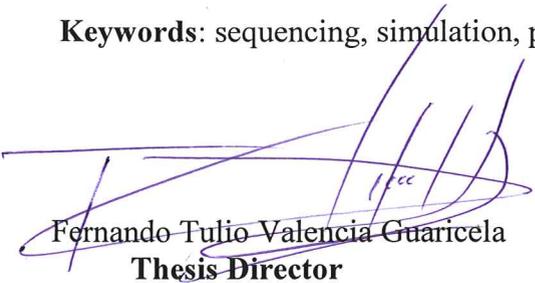
Autor

"NAJAYO PROJECT" SIMULATION BY MINE SEQUENCING

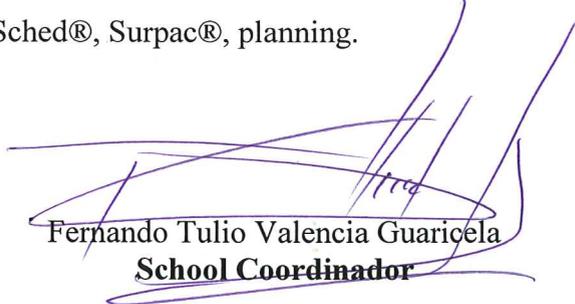
ABSTRACT

The objective of this graduation project was to generate the simulation-based mine sequencing of the "Najayo" Project, a limestone mine. For this, training in the use of software specialized in mining such as Surpac® and MineSched® was essential, as these programs were applied in the development of mine sequencing. The company named *Soluciones en Geología y Minería S.A.S*, was in charge of carrying out the planning of this mine. At the end of this study, the results will be compared and contrasted with those obtained by this company.

Keywords: sequencing, simulation, program, MineSched®, Surpac®, planning.



Fernando Tulio Valencia Guaricela
Thesis Director



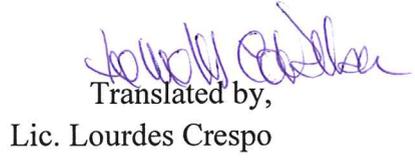
Fernando Tulio Valencia Guaricela
School Coordinador



Felipe Martín Ortega Ramírez
Author



Magaly Rodríguez
Dpto. Biomás



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Ortega Ramírez Felipe Martín

Trabajo de Titulación

Ing. Fernando Tulio Valencia Guaricela. Msc

Marzo, 2017

SIMULACIÓN DE SECUENCIA DE MINADO “PROYECTO “NAJAYO”

INTRODUCCIÓN

La minería a lo largo de su historia ha introducido cambios sustanciales que van desde procesos, instrumentos y recursos rústicos, haciendo que las personas que los utilizaban arriesgasen su seguridad; sin embargo, esa realidad se ha transformado. En la actualidad el uso de metodologías, instrumentos, avances tecnológicos aparte de facilitar la extracción de minerales, hacen que esta sea más eficiente y con menos errores. Dentro del ‘universo’ minero, existen múltiples ramas de especialización, las cuales se han desarrollado debido al avance de sus investigaciones y que hacen eficaz la explotación del mineral; ramas como la geotecnia, la especialización en el manejo del medio ambiente, como también en lo operacional, la planificación, metalurgia, entre otras, han desplegado sus técnicas con el fin de llevar a la minería al mejor sitio entre la industria.

La secuencia minera dentro de la planificación, no se ha quedado atrás. Con la implementación de distintas herramientas computacionales, entre los cuales se encuentran algunos tipos de software que ayudan a obtener un mayor grado de certidumbre en un proyecto minero, y junto con el criterio del ingeniero en minas dichos software pasan a ser una herramienta de mucha utilidad.

Dentro de una mina, ya sea está a cielo abierto o subterránea y sin importar el mineral el cual se plantea recuperar, el objetivo es determinar una extracción en forma lógica y sistemática una vez obtenida la geometría final. Existen muchas soluciones para este problema, entre las cuales se encuentra la generación de una secuencia de explotación en software especializado, tomando en cuenta diferentes variables las cuales se analizarán a fondo para la correcta ejecución del proyecto. Este software es una herramienta de simulación que ayuda a mejorar el desarrollo en la explotación de un proyecto minero, recalcando que no es el único camino, pero sí uno que contribuye en gran medida.

La principal motivación al realizar este proyecto de graduación es la capacitación sobre el manejo de un software especializado en la secuencia de extracción minera y demostrar cómo esta ayuda y facilita a la determinación del estado de un proyecto minero. Dicha capacitación se realizó mientras se cursaba un intercambio estudiantil en la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, en donde el Ing. Oscar Saavedra, como codirector del trabajo de titulación, asignó el “Proyecto Najayo” como el caso de estudio.

La empresa Soluciones en Geología y Minería S.A.S. fue la encargada de brindar la información de entrada, la cual se usó como base en este proyecto para generar perfiles, porcentajes de calidades de materiales, información del modelo geológico, etc. La mencionada información contendrá todos los datos relacionados con el proyecto (materiales, coordenadas, estudios hidrológicos, estudios geológicos, estudios geotécnicos, etc.). Posterior a esto se analizarán todos los datos en conjunto, como se correlacionan y la forma correcta de expresarlos.

Por otro lado, la capacitación se realizó en Surpac® y Minesched®, dos programas informáticos especializados en minería, esta etapa del trabajo de graduación fue la más larga, puesto que, ambos programas contienen múltiples herramientas las cuales apremian un conocimiento más profundo en su aplicación y un tiempo más largo en su aprendizaje.

Los resultados obtenidos al finalizar la simulación de secuencia de minado del Proyecto “Najayo”, se analizarán en forma global, uno encadenado al otro para cumplir el objetivo del proyecto de tesis., finalmente se reunirá toda la información relevante para la elaboración del informe final, presentando datos, actividades, diseños y resultados de una manera clara y concisa.

OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo de titulación es elaborar una secuencia de minado sistemática de una mina a cielo abierto.

Por otro lado los objetivos específicos los cuales se desprenden del objetivo general son los siguientes:

- Analizar los datos de entrada.
- Comprender la herramienta computacional en la secuencia de explotación minera.
- Analizar un caso real usando herramientas computacionales.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Introducción

En este capítulo se abarcará de manera teórica conceptos básicos que se deben tener en cuenta al momento de realizar una secuencia de minado; considerando que el proyecto gira en torno a una mina a cielo abierto de caliza y agregados, se procurará permanecer en dichos límites, sin entrar en temas o definiciones relacionadas con minería subterránea.

1.2. Minería y términos relacionados

En la actualidad existen algunos conceptos y definiciones de minería, uno descrito por el Ministerio de Minas y Energía de la Republica de Colombia el cual dice que minería es la “Ciencia, técnicas, y actividades que tienen que ver con el descubrimiento y la explotación de yacimientos minerales”. (Ministerio de minas y energía, 2003). Por otro lado, la cartilla informativa del sector minero emitida por el Banco Central del Ecuador dice: “La minería es una actividad económica que comprende el proceso de extracción, explotación y aprovechamiento de minerales que se hallan en la superficie terrestres con fines comerciales”. (Banco Central del Ecuador)

La minería consta de distintas operaciones esenciales y Jhon V. Beall, en 1973 las clasifico en:

- Exploración y evaluación del cuerpo mineralizado.
- Diseño e ingeniería del método de explotación.
- Arranque.
- Carga y transporte.
- Servicios.

- Mantenimiento de la maquinaria y organización del trabajo.
- Planificación y control.
- Tratamiento de mineral para su beneficio.

Por otro lado, el profesor Fernando Plá Ortiz de Urbina, en su curso de Laboreo de la Universidad Politécnica de Madrid, describe su propio concepto de minería o “labores mineras” como: “El conjunto de conocimientos relativos a los métodos, sistemas, procesos, máquinas e instrumentos que permitirán la extracción de la materia prima necesaria para la obtención de unos productos minerales, según las especificaciones establecidas en su comercialización y en base a unos criterios económicos” (Plá Ortiz de Urbina, 2002). Con estas definiciones, es posible definir un concepto de minería en este trabajo de graduación.

Minería es la actividad que se encarga de la extracción de los recursos que se encuentran en la corteza terrestre y su posterior beneficio, para el uso de los seres humanos. Para ello se debe realizar múltiples actividades, procesos, servicios y contar con los recursos necesarios para satisfacer necesidades y parámetros comerciales.

Con este concepto se puede decir en consecuencia que, la minería es un campo interdisciplinario en donde intervienen otras materias de estudio, las cuales hacen que la capacidad de investigación en este tema sea extensa.

Además, diremos que existen muchos tipos de minería; según el lugar y como se explote el material. Está la minería a cielo abierto, minería subterránea, minería de extracción por pozos y minería acuática.

Para establecer los límites de este trabajo de graduación, se ira centrando el tema propuesto. Así, podemos definir lo que es minería a cielo abierto.

Con base en el concepto de minería expuesto anteriormente y adicionando el término “cielo abierto”, se puede definir qué minería a cielo abierto es la actividad que extrae recursos minerales, los cuales se encuentran en la superficie terrestre o a cierta profundidad de la misma. La minería a cielo abierto tiene sus propias características que las hacen distinguirse de las otras antes mencionadas. Entre las más importantes podemos mencionar:

- Maneja y mueve grandes volúmenes de tierra.
- Utiliza maquinaria de gran tamaño,
- Se encuentra expuesto al intemperismo del medio ambiente.
- Ocasiona ciertos impactos que afectan al medio paisajístico.

1.3. Métodos de minería a cielo abierto

Para establecer el método de explotación a cielo abierto ideal es necesario primero establecer ciertas clasificaciones del caso y luego escoger el mejor método.

1.3.1. Tipo de Yacimiento

Los yacimientos considerados a explotarse pueden clasificarse en los siguientes:

- Forma.
- Relieve del terreno superficial.
- Proximidad a la superficie.
- Inclinación.
- Complejidad.
- Distribución del material.
- Roca dominante.

1.3.1.1. Forma

La forma de un yacimiento mineral es un punto fundamental para poder determinar la geometría final de la mina, así como su secuencia de minado, y puede estar clasificada en los siguientes tipos:

- Yacimientos isométricos: Este tipo de yacimiento se distribuye en todas las direcciones, son también conocidos como depósitos masivos.
- Yacimientos estratificados o laminados: Estos yacimientos tienden a ir en dos direcciones preferentes.
- Yacimientos columnares o cilíndricos: Por otro lado, este tipo de yacimientos a diferencia de los estratificados se extienden por una sola dirección.
- Yacimientos intermedios o mixtos: Estos yacimientos son la combinación de cualquiera o de todos los tipos de yacimientos mencionados antes.

1.3.1.2. Relieve del terreno superficial

El relieve del terreno superficial también es otro punto fundamental para elegir la geometría final y sistema de explotación, además de la aplicabilidad de medios mecánicos para la extracción del material. Se encuentran muchos tipos de relieves superficiales, pero en general se pueden definir cuatro:

- Horizontales: Terrenos en los que obviamente es plana o llana u horizontal, o con una pequeña inclinación.
- En ladera: Se presenta la mineralización a favor o en contra de la misma.
- Montañosos: Es cuando se presentan importantes accidentes en el relieve del terreno.
- Subacuáticos: Son lugares en donde se debe eliminar o quitar una pequeña porción de agua para explotar el yacimiento.

1.3.1.3. Proximidad a la superficie

La posición de un yacimiento con respecto a la superficie, indica si la explotación se realizará por minería en superficie y/o subterránea. En el caso de seleccionar minería de

superficie muestra la proporción de material útil respecto al estéril, por tanto, se puede definir diferentes métodos de la extracción del material.

- Superficiales: Este tipo de yacimientos se encuentran a unos 20 o 30 metros de profundidad, si es que existe o pueden estar en contacto con la superficie.
- Profundos: Son los yacimientos que se encuentran a profundidades entre 40 y 250 metros.
- Variables: Estos debido a la irregularidad del yacimiento puede variar su profundidad con respecto a la superficie.

Al encontrarse con yacimientos irregulares, no se lo puede establecer en un grupo específico, ya que este puede variar a lo largo de su extensión.

1.3.1.4. Inclinación

La inclinación de un yacimiento tiene una incidencia en el proceso de elección de un método de explotación ya que indica la relación que existe entre el material de ganga o el material de interés económico. Esto obviamente, se ve reflejado en cómo afecta económicamente las operaciones de la mina, y por último condiciona la probabilidad de rellenar los espacios realizados en el momento de arreglar los espacios intervenidos.

- Horizontales: Son yacimientos que están entre ángulos de 0° hasta los 10° o 15° de buzamiento.
- Tumbados: Estos yacimientos por lo general buzan en ángulos entre los 10° - 15° hasta los 25° - 35° .
- Inclinados: Estos superan los ángulos de 25° - 35° hasta ángulos de 70° - 80°
- Verticales: Los yacimientos de este grupo comprenden ángulos entre los 70° - 80° hasta los 90° .

Depende del criterio del ingeniero, en definir en qué rango se encuentra el yacimiento además de la experiencia que este pueda tener.

1.3.1.5. Complejidad

Un yacimiento puede estar conformado por uno o varios tipos de mineralizaciones, esto se traduce a diferentes materiales a extraer, con diferentes composiciones mineralógicas y diferentes tipos de extracción.

- **Simples:** Son yacimientos por lo general de distribución homogénea, sin presencia de otras mineralizaciones, es decir la mayoría del yacimiento está regido por una mineralización, todo el material se extraerá de manera conjunta.
- **Compleja:** En yacimientos de este tipo se puede encontrar minerales con altos contenidos de ley, o, por el contrario, masas en los que no se encuentran leyes. Por lo general la explotación de un yacimiento de este tipo se hace de forma selectiva.
- **Depósitos diseminados:** Estos yacimientos tienen una estructura muy compleja, con distribuciones aleatorias. Estos yacimientos necesitan un tipo de explotación mucho más selectivo.

1.3.1.6. Distribución del material

La clasificación de los yacimientos según su distribución está dividida en dos grupos:

- **Uniformes:** Estos tipos de yacimientos se caracterizan porque tienen leyes uniformes, y los materiales no difieren mucho en su composición.
- **No uniformes:** La mineralización de los yacimientos denominados “no uniformes” no presenta una distribución regular, en cuanto al material, se extrae de distintas zonas para una posterior homogenización.

1.3.1.7. Roca dominante

Los yacimientos siempre van a tener recubrimientos de estéril, estos pueden estar compuestos por rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas. O bien puede ser una alternancia de materiales blandos y duros, intrusiones compactas o meteorizadas ígneo o metamórfico. Ocasiones en donde el material a extraer mineralizado y el estéril son materiales sedimentarios.

1.3.2. Métodos de minería a cielo abierto

Una vez determinando el tipo de yacimiento según sus características inherentes, se procede a realizar la elección de un primer sistema o método de explotación, esta es una elección basándose en aspectos técnicos. En la minería a cielo abierto existen diferentes tipos de explotación, los cuales vamos a describirlos a continuación.

1.3.2.1. Cortas

Este tipo de explotación se da en yacimientos masivos o yacimientos de capas inclinadas, el arranque del material se hace de manera descendente con forma troncocónica. La profundidad a la que se llega en este tipo de explotación supera en algunos casos los 300 metros excepto cuando se aplica este método a yacimientos de carbón, ya que estos usualmente son mantos largos y no se genera mucha profundidad.

El método de cortas extrae una gran cantidad de materiales y al ser un método en el que se alcanzan grandes profundidades, el relleno del “*pit*” no sería económicamente factible.



Figura 1.1. Explotación por método de cortas.

Fuente: Tim Roberts Photography, s/a.

1.3.2.2. Descubiertas

El método por descubiertas se realiza principalmente en yacimientos tumbados u horizontales, con un recubrimiento de estéril no superior a 50 metros. Este método consiste en la extracción del material en una sola dirección y por lo general con solo un banco de estéril y posteriormente este se colocará en el hueco dejado por la explotación del material de beneficio perteneciente a la etapa o fase anterior.



Figura 1.2. Explotación por método de descubiertas.

Fuente: Raimond Spekking, 2013.

1.3.2.3. Terrazas

Al igual que el sistema de explotación anterior, el método de terrazas realiza el arranque del material de manera unidireccional y se aplica para yacimientos los cuales sean horizontales o casi horizontales. La diferencia con el anterior método es que la capa de estéril puede ser más potente y el único aspecto para definir la profundidad de la explotación es el económico.



Figura 1.3. Explotación por método de terrazas.

Fuente: Antonio M. Cabrera, 2006.

1.3.2.4. Contorno

Este tipo de yacimiento realiza igualmente una explotación unidireccional realizando un solo banco de estéril y mineral de interés, en sentido transversal al yacimiento, en este método generalmente no se llega a grandes profundidades. El método de contorno por lo general se aplica a yacimientos de carbón de capas tumbadas y con una potencia baja, adicionalmente a esto, la superficie presenta grandes accidentes topográficos.



Figura 1.4. Mina en donde se explotó por el método de contorno.

Fuente: Jurema Oliveira, 2004.

1.3.2.5. Canteras

El método de explotación denominado canteras, es un sistema el cual utiliza bancos, que pueden ser ascendentes o descendentes. Por lo general, el término “cantera” sirve para englobar la explotación de materiales industriales, ornamentales y materiales de construcción. Existen dos formas principales en el momento del arranque del material.

La primera forma, arranca todo el material con el fin de obtener todo el material fragmentado para su posterior tratamiento (trituration, molienda, clasificación) dependiendo el material final que se quiera obtener. La otra forma de arranque del material, es de una forma cuidadosa con el objetivo de obtener bloques bien definidos del material, esto por lo general se utiliza en canteras de rocas ornamentales como el mármol.



Figura 1.5. Cantera de mármol.

Fuente: Grupo MOS, 2012.



Figura 1.6. Método de cantera.

Fuente: BGS, British Geological Survey, s/a.

1.3.2.6. Graveras

Este tipo de explotación es utilizado principalmente para la extracción de arenas, grava, o cantos rodados que se encuentran poco cohesionados. Por lo general este material es utilizado para la industria de la construcción, teniendo una gran demanda. Los yacimientos de este método de explotación se encuentran principalmente en depósitos de

valle y terrazas de ríos; la profundidad a la que se extrae este material no es excesiva, llegando máximo a 20 metros de profundidad. Debido a que el material no se encuentra compacto, el arranque del mismo no presenta grandes dificultades y es mejor la explotación por maquinaria mecánica.



Figura 1.7. Gravera.

Fuente: Talleres Alquézar S.A., s/a.

Pues bien, ningún yacimiento en el mundo es igual por lo que no hay una guía exacta tipos de yacimientos o métodos de explotación, así que al elegir un sistema o método de explotación debemos tener mucho criterio para poder identificar y tomar la mejor decisión.

1.4. Elementos de una mina

Una mina a cielo abierto está conformada de varios elementos, los cuales se rigen bajo especificaciones geomecánicas, de maquinaria, económicas, etc.

A continuación, se determinarán ciertos elementos los cuales se deben tener claros en el momento en que se realiza una explotación minera a cielo abierto como es el caso de este proyecto.

1.4.1. Bermas de seguridad

Las bermas de seguridad son diseñadas para contener un desplazamiento de una cuña o volcamiento de alguna roca. Para establecer el ángulo de la berma se considera primero las condiciones geomecánicas que tendrá el terreno y el beneficio económico que dependerá del ancho de la berma. Los rangos para las bermas por lo general van entre los 8 a 12 metros.



Figura 1.8. Bermas.

Fuente: Mario Alfredo Galetti ,2015.



Figura 1.9. Bermas de seguridad sosteniendo material de deslizamiento.

Fuente: Warco S.A.S, s/a.

1.4.2. Ángulo de talud de la pared del banco

Este ángulo es la inclinación de la pared del banco, generalmente se mide desde la pata del banco hasta su propia cresta. Siendo, pata del banco, la parte inferior del banco, el lugar donde se junta la berma y el talud. Por otro lado, la cresta de un banco es la parte superior del mismo, donde se junta el talud con la berma.

1.4.3. Ángulo de talud inter-rampas

Es la inclinación que se mide en un conjunto de bancos que se encuentran entre una rampa y la rampa consecutiva. Se mide desde la pata del banco superior donde se encuentra una rampa hasta su cresta de un banco de la otra rampa.

1.4.4. Ángulo de talud en un conjunto de bancos

El ángulo que se representa en esta inclinación es de un grupo de bancos donde no existe ninguna diferencia geométrica, una rampa de acceso, por ejemplo. Se mide desde la pata del banco más profundo hasta la cresta del banco más alta.

1.4.5. Ángulo de talud total

Es el ángulo de la inclinación de la pared final del tajo, incluyendo rampas o cualquier irregularidad geométrica. Se mide de igual manera que el ángulo de talud en un conjunto de bancos.

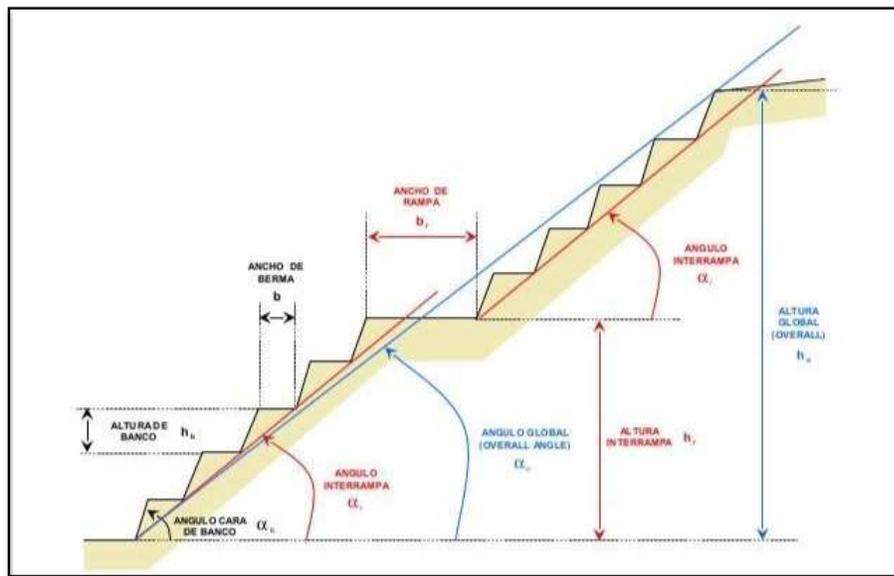


Figura 1.10. Elementos de una mina a cielo abierto.

Fuente: Evelyn Avilés Abarca, 2015.

1.5. Secuencia minera

La secuencia de explotación o también llamada estrategia de consumo de reservas, se refiere a la forma en que se explotará el material de la mina, desde su inicio hasta conseguir la forma o geometría final del *pit*. Esta extracción de material se hace a través de rajos que se denominan “fases o períodos”.

Existen múltiples formas para realizar la secuencia de minado, antes de mencionarlas hay que recalcar que en este trabajo de graduación no intervienen cuestiones económicas, solo se concentrara en una extracción de material basándonos en parámetros y restricciones técnicas. Con esto claro podemos definir dos metodologías utilizadas en la secuencia minera.

La primera técnica se basa en maximizar la recuperación del material del yacimiento, elaborando fases intermedias similares al diseño del *pit* final con variaciones de los precios de venta del material. Los rajos o fases que se crean están asociados a precios del producto más bajo hasta llegar al precio de venta del producto que se pronosticó para largo plazo, es decir al final del ciclo de vida de la mina. El principal problema con este método es que los altos precios hacen que la dirección de minado vaya hacia sectores en donde existe una mejor ley, aun cuando estos tengan mayor sobrecarga y sabemos que el costo de extracción de estéril siempre es constante (Vásquez, Galdames, & Le-Feaux, 1998).

Otro método utilizado es generar rajos para diferentes leyes críticas de diseño, es decir a rajos de menor tamaño se le da una ley crítica menor, mientras que el rajo final de mayor tamaño tiene la ley crítica más baja y por ende corresponde a la ley crítica de diseño. Este método prioriza a la ley y no toma en cuenta la relación estéril-mineral.

Estas metodologías de secuencia minera optimizan el valor actual neto (VAN) de la operación al término de la explotación, aprovechando las mejores calidades de material en las primeras fases de explotación; así garantizando la salida de los mejores valores económicos al inicio del proyecto, dando una secuencia con menor riesgo para el inversionista (Vásquez, Galdames, & Le-Feaux, 1998).

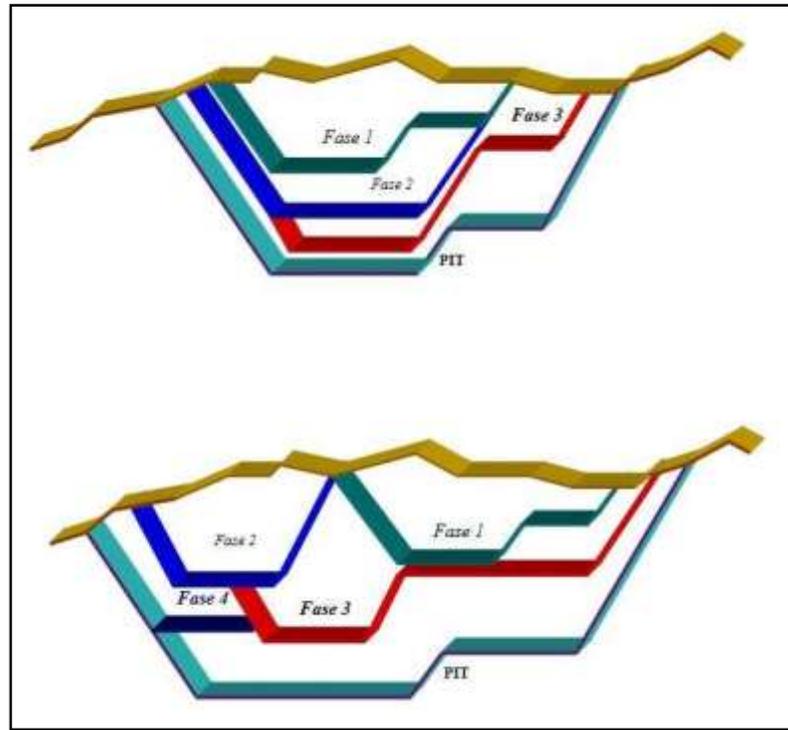


Figura 1.11. Fases de explotación. Secuencia de explotación.

Fuente: Joseph Alberto, 2012.

1.6. Conclusiones

Al finalizar este capítulo introductorio se puede llegar a las siguientes conclusiones.

- Existen muchos tipos de yacimientos y como se dijo anteriormente, no existen dos iguales y dependiendo de cada tipo de yacimiento va a existir un método de explotación favorable.
- Al momento de crear o diseñar un proyecto minero se debe tener en consideración varios aspectos técnicos, como vimos en los puntos anteriores, elementos significativos de reflexión de cómo está conformada una mina. Estos elementos están basados en estudios geotécnicos, geológicos, económicos que darán las bases para realizar el diseño y la secuencia de extracción. Para la

aplicación de este proyecto de graduación se basó en los estudios realizados previamente por la empresa Soluciones en Geología y Minería S.A.S. (Sociedad de Acciones Simplificadas) y a partir de esos se realizará la secuencia de minado.

- El proceso de secuenciar la extracción de mineral es complejo, ya que además de problemas técnicos, intervienen problemas económicos, ambientales, sociales, etc. Al realizar este proyecto de graduación solo nos concentramos en los problemas y aspectos técnicos que se presentan en una mina de calizas.

CAPÍTULO II

DATOS DE ENTRADA

2.1 Introducción

Dentro del proceso de secuencia minera, es necesario contar con cierta información, denominada, información de entrada; esta información puede ser de calidad de material, costos, producción, información geológica, geotécnica, ambiental, legal, etc. Cabe resaltar que mientras se tenga más cantidad de información y la veracidad de la misma sea la mejor; la sucesión de extracción del mineral va a tener más similitud con lo que va a ocurrir en la realidad.

2.2 Recopilación de datos de entrada

Existen dos tipos de datos, aquella a la cual se tiene acceso libremente y otra que es proporcionada por la empresa Soluciones en Geología y Minería S.A.S. De todos los datos recabados, existen dos tipos: información de entrada que requiere un análisis profundo, e información de entrada que no requiere un análisis profundo (Figura 2.1).

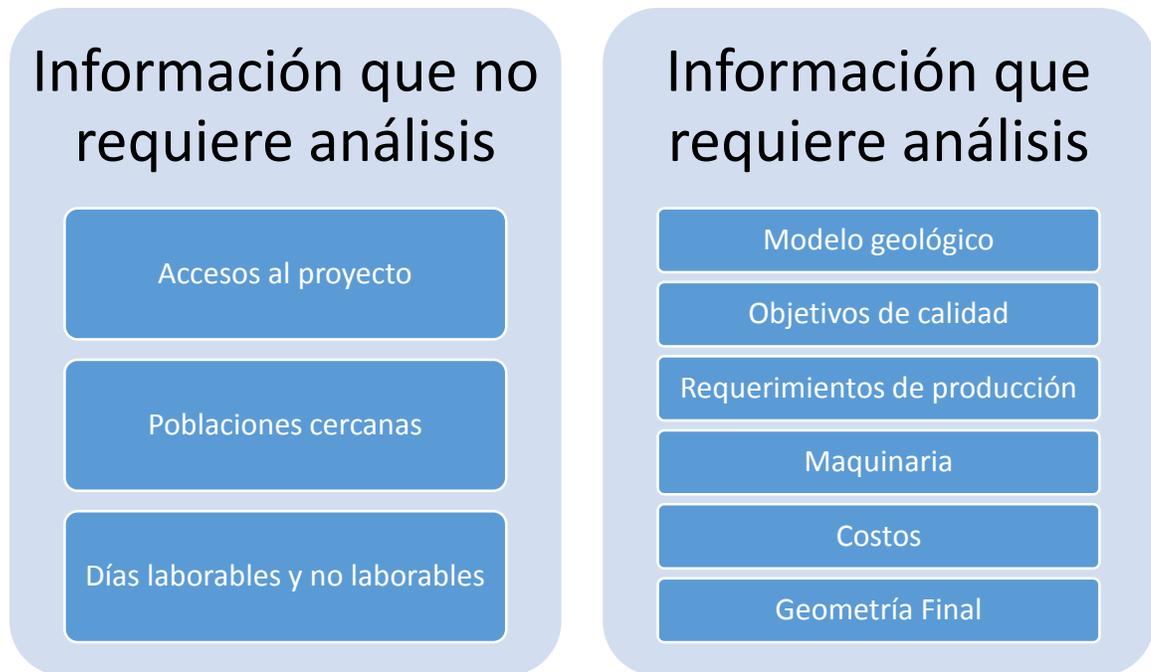


Figura 2.1. Tipos de información de entrada.

Vale aclarar que cuando se menciona en este informe que, la información no requiere análisis, es porque son datos de entrada exógenos al proyecto, pero en todos los proyectos mineros se deben tener en cuenta la infraestructura vial, equipo que circula, accesos, inversión en mejoramiento de vías, costumbres de las poblaciones cercanas, la existencia de mano de obra calificada o no, los días laborales y no laborales que ayudan a definir la producción, etc.

2.2.1. Información de entrada que no requiere análisis

Esta información no va a ser de gran relevancia en el análisis del proceso minero, pero es muy importante tomarlas en cuenta para generar restricciones, ya que esta información sigue siendo parte inherente del proyecto y puede restringir la secuencia minera cuando el proyecto ya está en marcha. A continuación, se detallará a grosso modo los siguientes puntos de este tipo de información.

2.2.1.1. Poblaciones cercanas

El proyecto con el que se va a realizar este trabajo de graduación es una mina principalmente de caliza y agregados ubicada en el país de República Dominicana, el proyecto está situado en el sector Najayo, provincia de San Cristóbal. Se encuentra a 6,48 Km de las playas de Najayo, el centro poblado más cercano; a la ciudad de San Cristóbal, capital de la provincia donde se emplaza el proyecto, existe una distancia de 7,39 Km lineales y 21,3 Km lineales a Santo Domingo, capital de este país.

2.2.1.2. Accesos al proyecto

Para llegar al proyecto minero “Najayo”, las vías de acceso principales son: la carretera que viene de San Cristóbal al norte, al noreste la carretera que viene de los Bajos de Haina y un último acceso principal, la carretera que cruza de este a oeste, a través del pueblo Mar de Paez. Adicional a esto existen otros caminos y senderos vecinales los cuales llegan al proyecto, pero con una dificultad y tiempo mayores.

2.2.1.3. Días laborables y no laborables

Dentro de este punto se tomará en cuenta los días festivos de la población circundante, días laborables y aquellos que no se laboren, para generar la secuencia de minado lo más precisa y cercana a lo que pueda pasar en un futuro. Ya que la producción debe ser constante, para el caso del proyecto “Najayo” en su mayoría solo tomará en cuenta como días no laborables las siguientes fechas:

- 30 de enero: 3 días no laborables.
- 25 de diciembre: 2 días no laborables.

2.2.2. Información de entrada que requiere análisis

En este grupo de información, es necesario el análisis de la misma; ya que los elementos que componen esta información están relacionados entre sí y el futuro proyecto tiene una gran dependencia de la calidad de esta información.

A continuación, se generará una descripción detallada de esta información como punto de partida para el desarrollo de la secuencia de extracción de mineral en el proyecto “Najayo”. Toda la información a continuación expuesta fue administrada por la empresa Soluciones en Geología y Minería S.A.S. partir de una exploración en campo del área en donde se encuentra el proyecto.

2.2.2.1. Modelo geológico

El modelo geológico expresado en los siguientes puntos fue realizado con la idea de representar la realidad geológica tanto estructural como de calidad de la zona. Esto es importante para que la precisión en la secuencia sea el mayor, este modelo de bloques integra información geológica y química presente en el terreno.

2.2.2.1.1. Topografía

La base topográfica, siendo uno de los primeros datos que se obtiene y se analiza, tiene una gran importancia ya que a partir de esto se desarrolla el proyecto; esta información fue entregada por parte de Cemento ARGOS, República Dominicana; siendo ésta la empleada en el área de interés.

La topografía proporcionada es una base a nivel general a escala 1:4000 con curvas de nivel cada 2m, generada a partir de una restitución fotogramétrica elaborada a partir de una línea de vuelo del año 1967 (Figura 2.2).

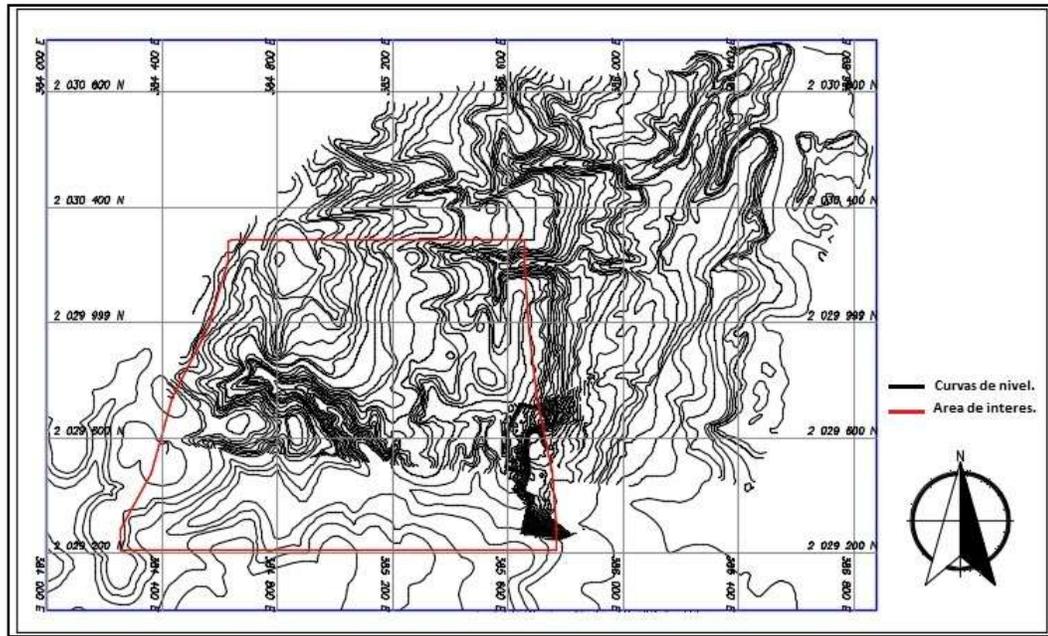


Figura 2.2. Topografía del terreno.

Fuente: Cemento ARGOS, República Dominicana (1967).

En la Figura 2.3 se representa la topografía un poco más detallada, solamente del área de interés del proyecto “Najayo”, el cual está limitada por una línea color roja.

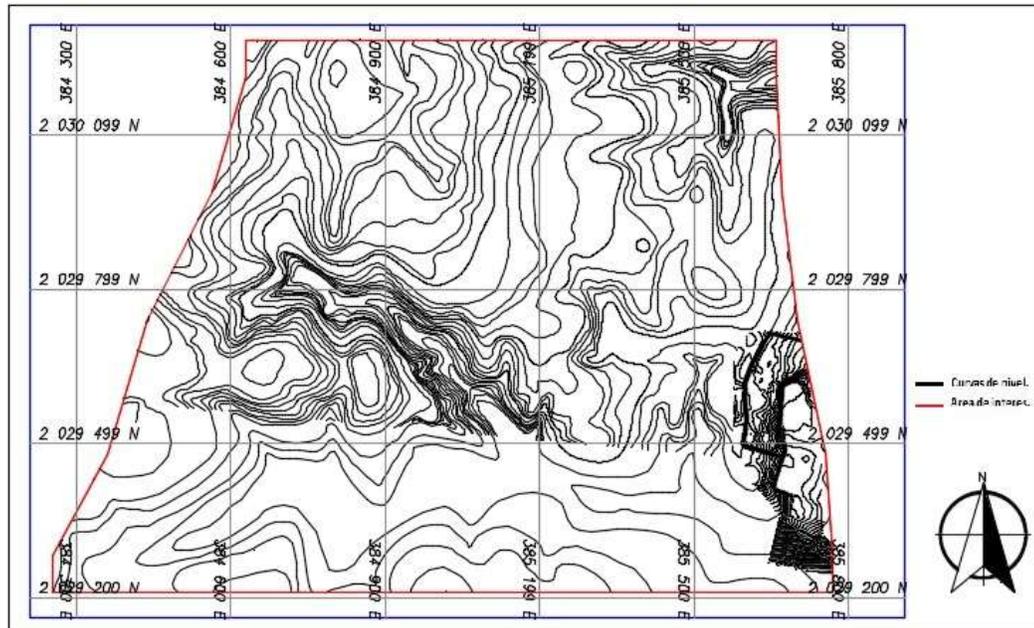


Figura 2.3. Topografía del área de interés.

A continuación, se presenta la topografía en una vista en perspectiva, dando distinción a la composición de las diferentes elevaciones presentes en el terreno. (Figura 2.4)

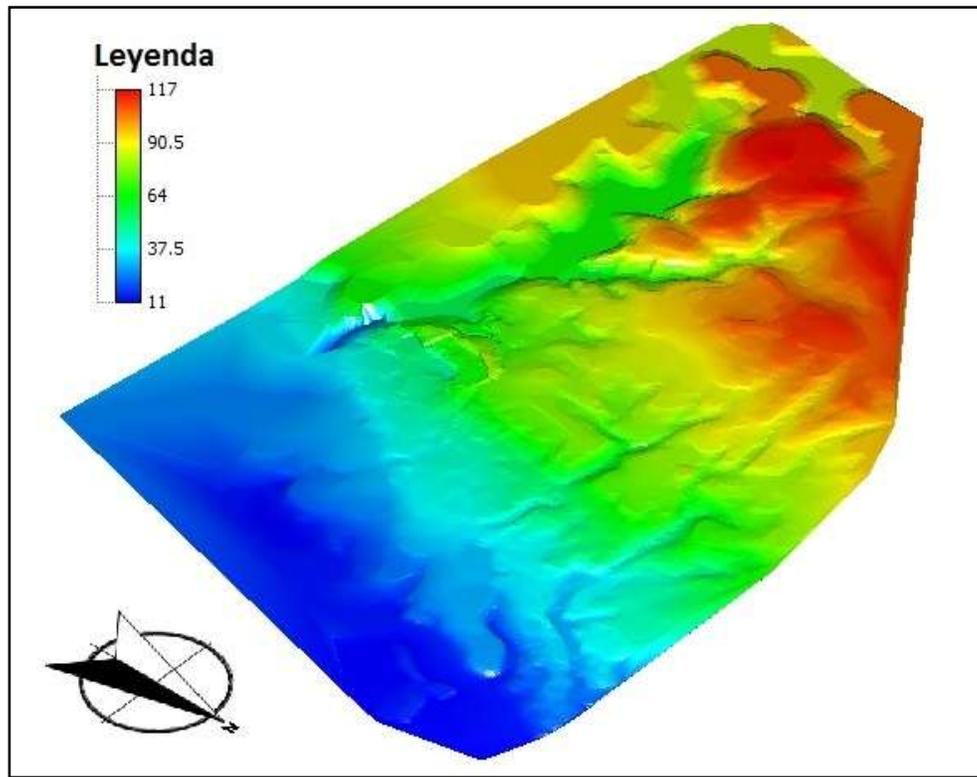


Figura 2.4. Modelo de la topografía del terreno.

2.2.2.1.2. Modelo geológico

El modelo geológico lo realizó la empresa Soluciones en Geología y Minería S.A.S. Para lo cual, elaboro 28 perforaciones verticales en toda el área de estudio. Posterior a esto, realizó un estudio de laboratorio para encontrar la calidad del material presente en el terreno, expresado en porcentaje (%) y la litología presente en el área de interés.

Con lo que se presentó una descripción geológica que indica lo siguiente de manera textual:

“...se establece que la secuencia estratigráfica que se presenta en el área de estudio pertenece a un estrato de la formación ‘Ingenio Cae’, el cual está formado por tres paquetes de edades Miocena, Pleistocena y Holocena; encontrándose hacia la base del estrato una secuencia de lutitas interestratificadas con calizas, sobre las cuales se

presenta un horizonte de areniscas grueso/granulares de color anaranjado y amarillento o por conglomerados de edad Miocena, sobre este paquete se encuentra una secuencia de calizas interestratificada con capas finas de arcilla de color rojo oscuro y con arenas gruesas y sueltas que corresponden períodos en lo que no se generó la precipitación de carbonatos, para este horizonte se diferencian dos tipos de caliza, según su posición estratifica, la caliza 1 o inferior y la caliza 2 o superior, separadas por los paquetes de arena, este paquete de caliza es de edad Pleistocena; sobre estos dos paquetes se encuentra un paquete conformado por areniscas grueso granulares, arenas muy gruesas, conglomerados y un depósito de playa originado a partir de las tormentas, cuyo contacto con los demás paquetes, corresponde a un contacto del tipo erosivo, este último paquete se encuentra restringido al costado nororiental de la zona de estudio; Adicional a estos paquetes, hacia el costado occidental del área de estudio sobre la caliza número 2, se presenta un paquete de caliche, el cual se ha formado por la intemperie de estas calizas, al producirse la evaporación de aguas del terreno ricas en carbonato cálcico.” (Soluciones en Geología y Minería S.A.S, 2014).

A partir de estos estudios realizados, las perforaciones y el reconocimiento geológico, se obtuvieron los siguientes límites litológicos expresados en el modelo geológico por medio de un modelo de bloques con atributos para los diferentes tipos de roca, esencial al momento de secuenciar el software Minesched®. (Figura 2.5).

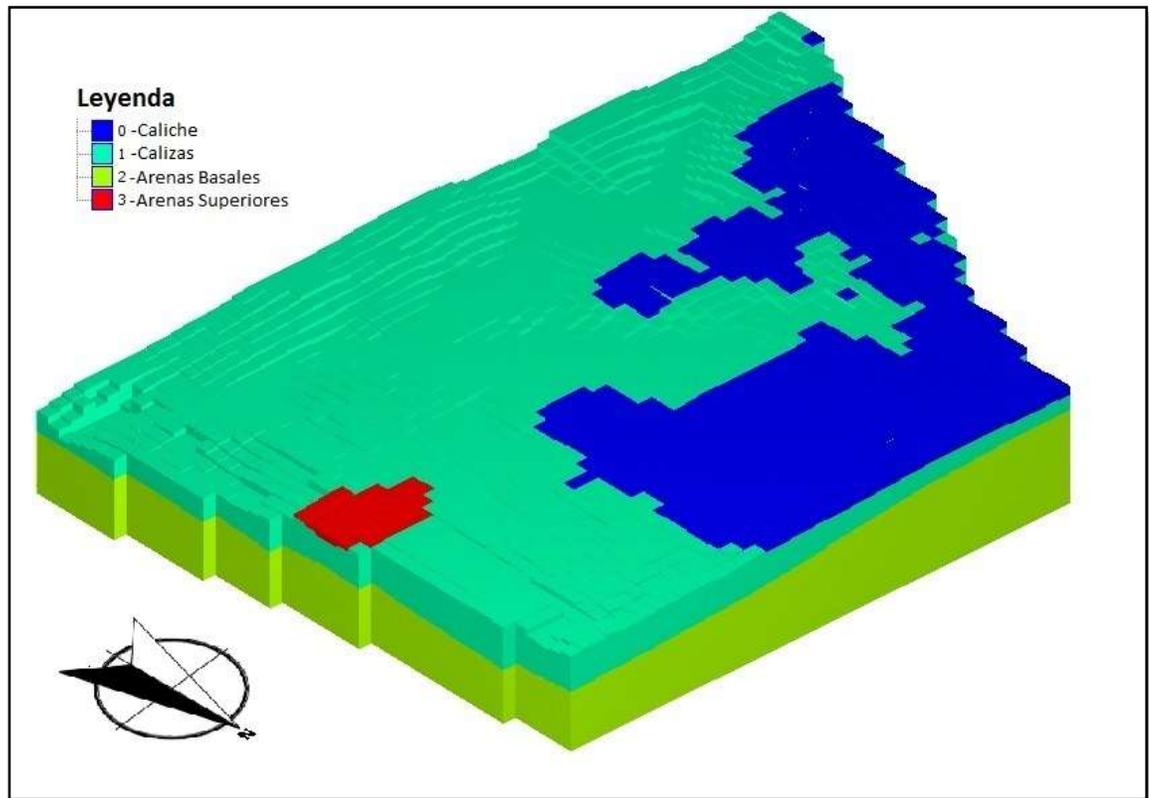


Figura 2.5. Litología del área de interés.

Fuente: Soluciones en Geología y Minería S.A.S. (2014).

- Una capa de areniscas grueso/granulares, este paquete se ubica en la base de la secuencia.
- Otra capa de calizas inter-estratificadas con arcillas y arenas, el cual se encuentra en la parte media de la secuencia.
- Un horizonte de caliche, el cual es el miembro superior de la secuencia.
- Y por último un horizonte de areniscas, conglomerados y depósitos de playa, que se encuentran en la base de la secuencia a modelar.

Con base esta información de entrada, se realizaron perfiles de litología para corroborar lo descrito, y tener una idea más clara y específica del modelo geológico de la zona. (Figura 2.6).

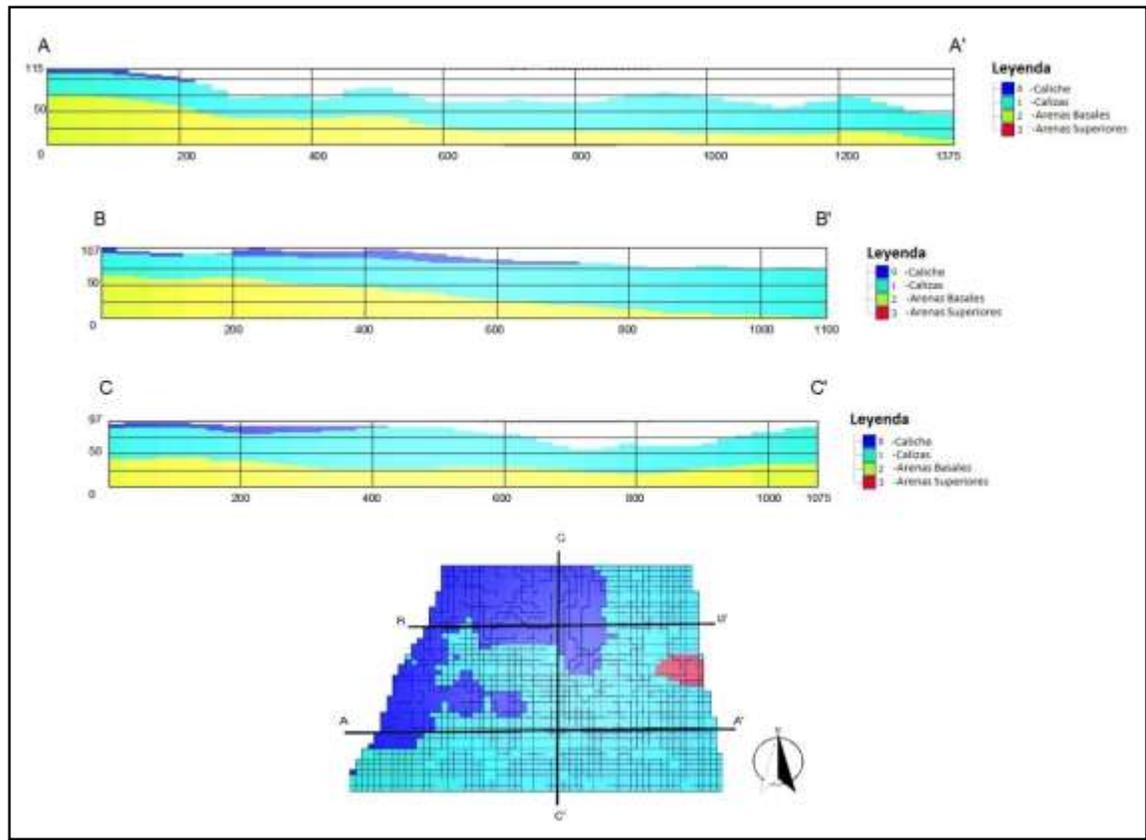


Figura 2.6. Perfiles geológicos.

2.2.2.1.3. Modelo de Bloques

En el modelo de bloques que fue proporcionado, se encuentra distinta información de cada bloque como porcentajes de la composición química, litología, posición, coeficiente, etc. Estos bloques tienen una dimensión mínima de 25m x 25m x 2,5m. En la Figura 2.7 se encuentra el modelo de bloques.

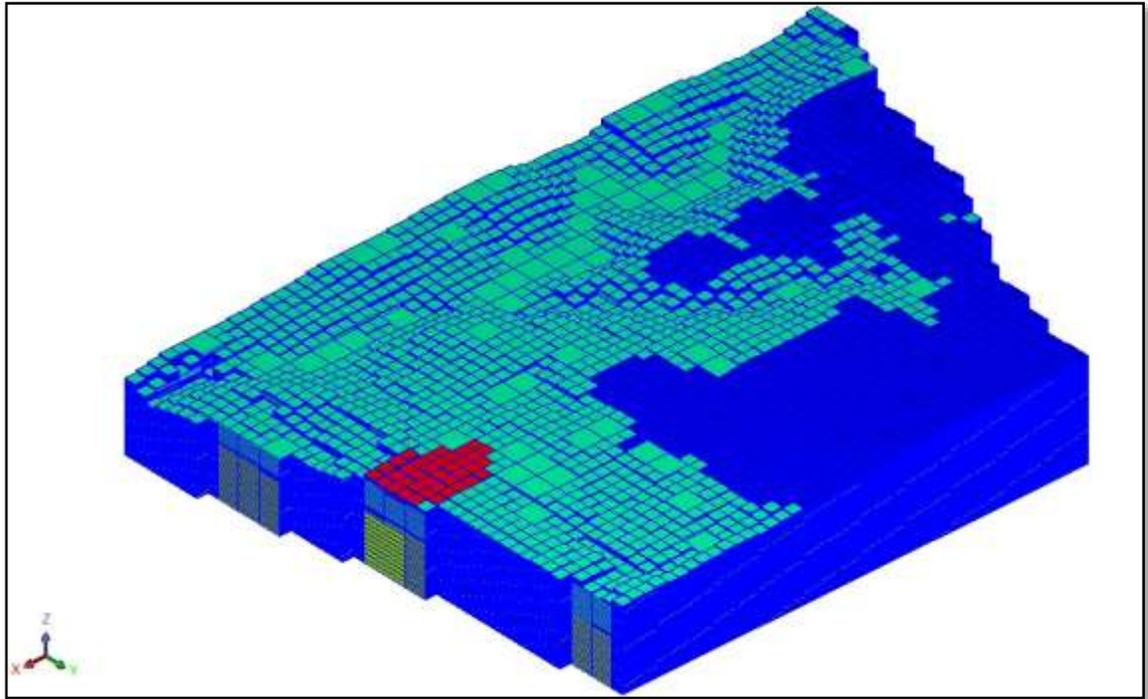


Figura 2.7. Modelo de bloques del área de interés.

Fuente: Soluciones en Geología y Minería S.A.S. (2014).

2.2.2.2. Objetivos de Calidad

El “cliente interno” en este caso la planta, necesita cierta cantidad de material para el procesamiento del cemento, los tipos de materiales a utilizar son: agregados, caliza para adición y crudo para clinker.

En el caso de los agregados no se cuenta con parámetros específicos de calidad, sino los requerimientos van a ser tipo granulométricos.

Para la caliza adición se necesitan establecer los porcentajes de material a usarse, que son los siguientes: Óxido de calcio o cal viva (CaO), carbonato de calcio (CaCO_3), sílice

(SiO₂), alúmina (Al₂O₃) y un porcentaje de humedad, estos valores están representados en la Tabla 2.1.

Por otro lado, para la elaboración de caliza crudo se requiere los siguientes materiales expresados en porcentaje, representados en la Tabla 2.2: Óxido de calcio o cal viva (CaO), carbonato de calcio (CaCO₃), sílice (SiO₂), óxido de hierro (Fe₂O₃), alúmina (Al₂O₃), FSC (saturación cal), CA (coeficiente de alúmina) y CS (coeficiente de sílice).

Tabla 2.1. Objetivos de calidad - adición.

Parámetro	Especificación	
	%	
	Min	Max
CaO	43.7	50.4
CaCO ₃	78	90
SiO ₂	23	40
Al ₂ O ₃	0	4
Humedad	0	10

Fuente: Soluciones en Geología y Minería S.A.S. (2014).

Tabla 2.2. Objetivos de calidad de caliza - crudo.

Parámetro	Especificación	
	%	
	Max	Min
CaO	55	40
CaCO ₃	98.17	71.4
Al ₂ O ₃	3.5	2
Fe ₂ O ₃	4	2
SiO ₂	14	13
FSC	1.02	0.98
CA	1.5	1.3
CS	2.7	2.4

Fuente: Soluciones en Geología y Minería S.A.S. (2014).

2.2.2.3. Requerimientos de producción

Una vez determinado quién es nuestro cliente (planta), ellos determinan la cantidad requerida de material que necesita. Nuestro objetivo no es determinar el porqué de esta, ya que no estamos analizando la producción requerida por planta, pero esta cantidad es la que rige la extracción de mineral.

La producción requerida por planta es de 75,000 ton/año para el caso de agregados desde el inicio hasta el final del ciclo de vida de producción de la mina, 75,000 ton/año de caliza para la adición. Esta cantidad de material se requerirá en los primeros 5 años, posterior al quinto año de producción de caliza de adición ascenderá a 180,000 ton/año y

a su vez iniciará la producción de caliza para la elaboración de clinker que será de 1.44 Mton/año. Todo esto esta resumido en la Tabla 2.3 expresada a continuación.

Tabla 2.3. Requerimientos de producción.

Material	Producción	Año
	Ton/año	
Agregados	75,000	1 hasta agotamiento del Recurso
Caliza de adición	75,000	1 a 5
Caliza de adición	180,000	6 a 30
Caliza clinker	1'440,000	6 a 30
Caliza total	1'620,000	6 a 30

Fuente: Soluciones en Geología y Minería S.A.S. (2014).

2.2.2.4. Maquinaria

En este punto se tomará en cuenta la maquinaria que se tenía en ese entonces, en el inicio de las actividades ya que es una mina en la cual las actividades operativas de extracción de material ya han comenzado. En estos términos la maquinaria con la que se cuenta en la actualidad y la que se requerirá al momento del aumento de la producción es la siguiente, expresada en la Tabla 2.4 para la maquinaria actual y la Tabla 2.5 para la maquinaria cuando aumente la producción.

Tabla 2.4. Maquinaria actual.

Flota	Cantidad	Equipo	Modelo	Capacidad
				ton
Cargue	1	Retroexcavadora	330D	8
	1	Cargador	938H	7.3
Transporte	2	Camión	730	32.4

Fuente: Soluciones en Geología y Minería S.A.S. (2014).

Tabla 2.5. Maquinaria para el aumento de producción.

Flota	Cantidad	Equipo	Modelo	Capacidad
				%
Cargue	1	Retroexcavadora	330D	8
	1	Retroexcavadora	320D	5.4
Transporte	2	Volquetas	730	32.4
Apoyo	1	Tanqueros	740D	20.1
	1	Cargador frontal	962H	8.4
	1	Camión cisterna	-	-
	1	Retroexcavadora (cuchilla brazo largo)	320D	8
	2	Retroexcavadora (drenajes)	320D	8
	1	Motoniveladora	120M	-
	1	Camabaja	-	-

Fuente: Soluciones en Geología y Minería S.A.S. (2014).

2.2.2.5. Costos

Los costos que se emplearon en el año pasado, momento en donde se cotizaron los mismos para las actividades de operación son los expresados en la Tabla 2.6. Ya al pasar un año desde dicha cotización, los precios fueron afectados debido a la inflación anual en un 1.75%. (Banco Central de la República Dominicana, 2016). Los costos para abril del 2016 están expresados en la Tabla 2.7.

Tabla 2.6. Costos de operación.

Material	Costo de operación
	\$USD/ton
Caliza	8
Caliche	8
Arenas basales	8
Arenas superiores	8

Fuente: Soluciones en Geología y Minería S.A.S. (2014).

Tabla 2.7. Costos de operación actualizados.

Material	Costo de operación
	\$USD/ton
Caliza	8.14
Caliche	8.14
Arenas basales	8.14
Arenas superiores	8.14

2.2.2.6. Geometría final

El último punto a analizar en la obtención de la información de entrada es la geometría final de la mina, es decir cómo se va a encontrar la mina al finalizar los 30 años de explotación. Esta geometría es muy importante, ya que a partir de esta se obtienen las reservas mineras y se define el proceso de secuencia en donde se tomará la información de modelo de bloques que este dentro de esta geometría (Figura 2.8).

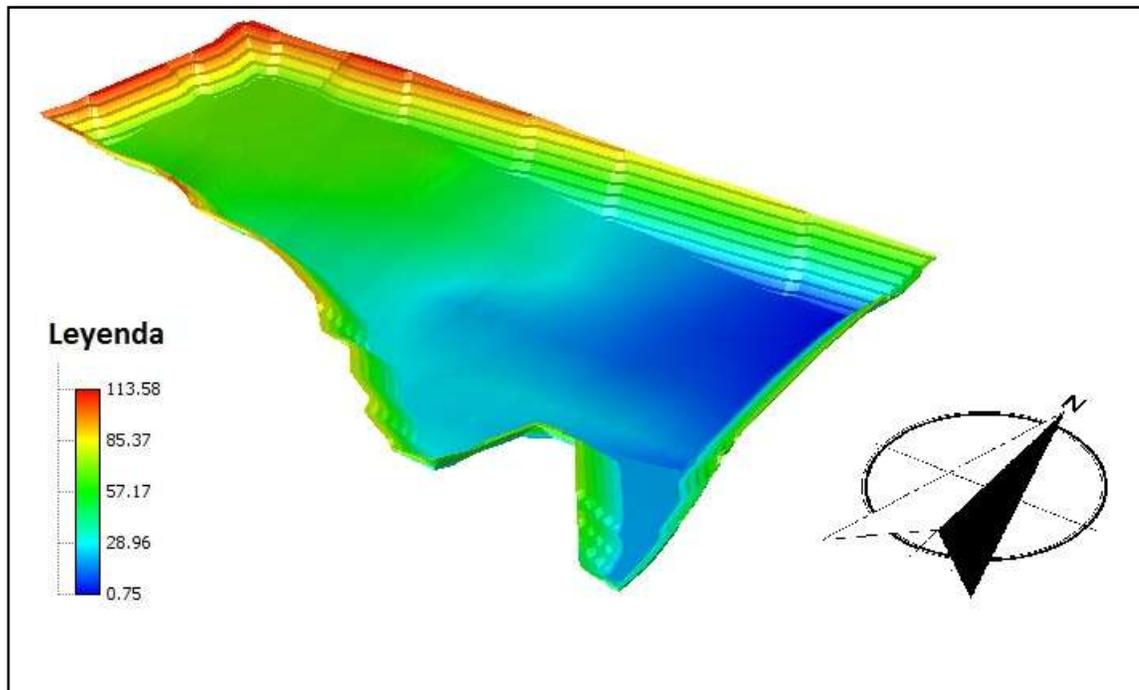


Figura 2.8. Geometría final.

2.3. Análisis de la información de entrada

2.3.1 Topografía

En el análisis de la topografía que se obtuvo en la información de entrada, se va a centrar en la topografía del área de estudio o de interés, ya que es el lugar que estará mayormente ligado a las actividades de explotación.

Según la base topográfica que se obtuvo, se puede decir que no es un terreno escarpado. Tiene una mínima elevación de 21 m.s.n.m., ubicada mayoritariamente en la parte sur-oriental del área de interés incrementando progresivamente hacia la parte nor-oriental en donde se encuentran elevaciones mayores, la misma que es de 117 m.s.n.m. (Figura 2.9).

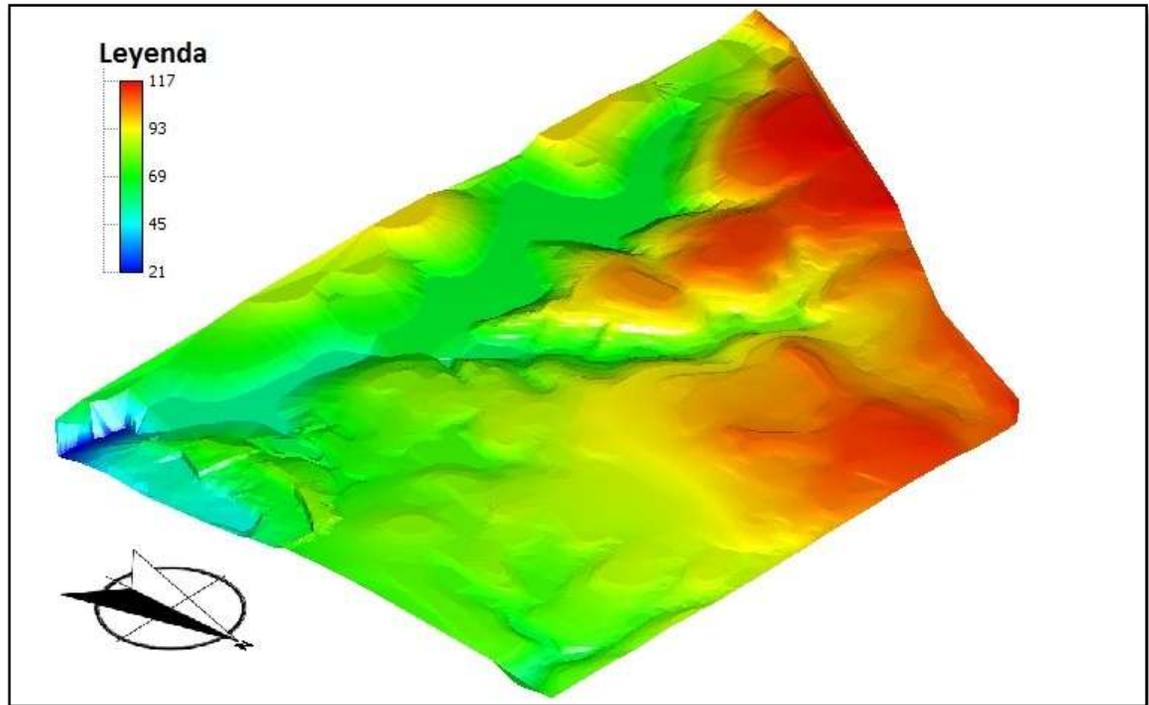


Figura 2.9. Topografía del área de interés.

2.3.2. Litología

La litología, aunque ya descrita anteriormente, se va a mencionar nuevamente, ya que es importante saber cómo está compuesto el terreno, y saber explotar dicho material con el fin de cumplir los objetivos de extracción.

Dicho esto, se puede mencionar que existen 4 pisos litológicos presentes en el terreno, de los cuales dos de ellos son los de mayor interés debido a la mayor composición de CaCO_3 , que son: la unidad de calizas y caliche.

- Una capa de areniscas grueso/granulares, este paquete se ubica en la a base de la secuencia.

- Otra capa de calizas inter-estratificadas con arcillas y arenas, el cual se encuentra en la parte media de la secuencia.
- Un horizonte de caliche, el cual es el miembro superior de la secuencia.
- Y por último un horizonte de areniscas, conglomerados y depósitos de playa, que se encuentran en la base de la secuencia a modelar.

Para corroborar esta información se realizó tres cortes dentro del área de interés, obteniendo los siguientes resultados. (Figura 2.10). Observando claramente que el paquete litológico de calizas es mucho más potente que la unidad de caliche.

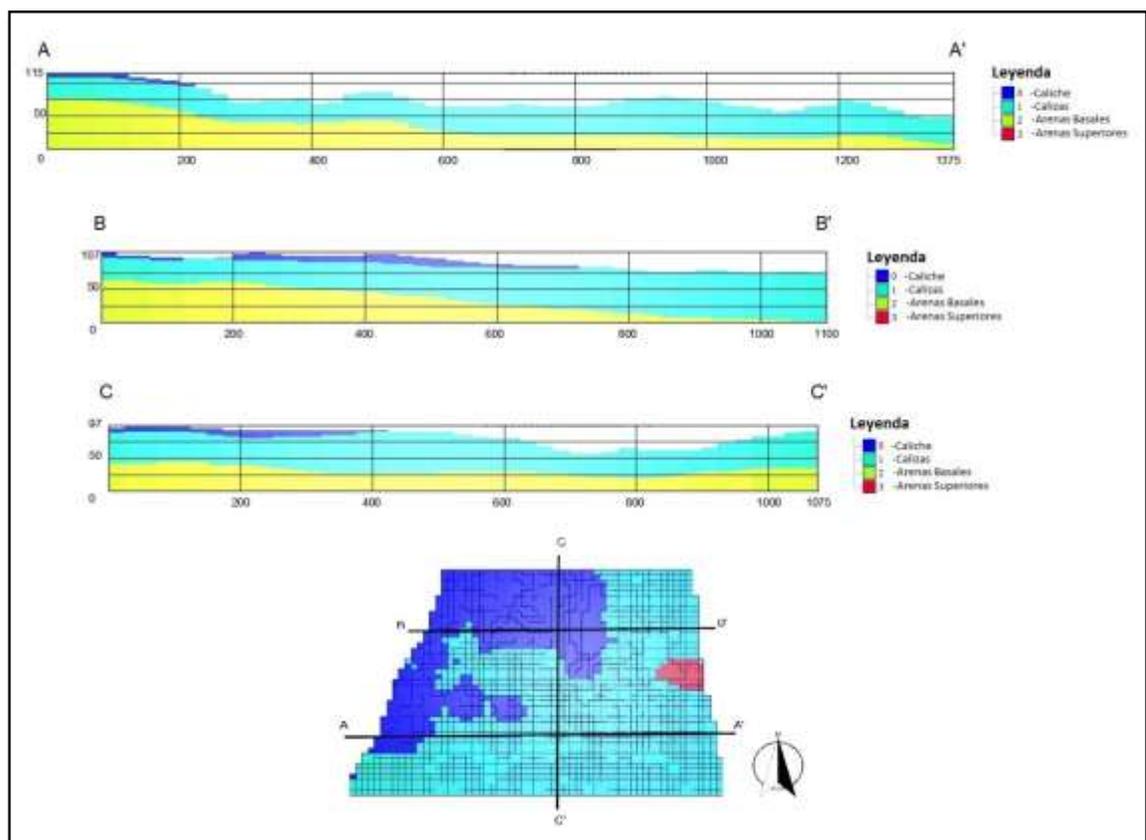


Figura 2.10. Perfiles litológicos.

2.3.3. Calidad

Para el análisis de calidad presente en el área de interés, se va a analizar la composición química de los bloques. Los compuestos que se van a analizar son los de mayor importancia para el proyecto, estos son los siguientes:

- Carbonato de calcio (CaCO_3).
- Alúmina (Al_2O_3).
- Óxido de Hierro (Fe_2O_3).
- Sílice (SiO_2).
- Cal (CaO).

Para esto se configurará los bloques según el compuesto químico que se desea analizar, posterior a esto se van a realizar perfiles en donde se conocerá la composición de los bloques a profundidad, para ser finalmente revisada esta información en conjunto. Los diferentes perfiles para cada tipo de compuesto químico están en los Anexos.

En cuanto al compuesto principal a explotar (CaCO_3) se va a hacer un análisis de planta y en perspectiva del modelo de bloques, expresados en términos de CaCO_3 . (Figura 2.11 y Figura 2.12).

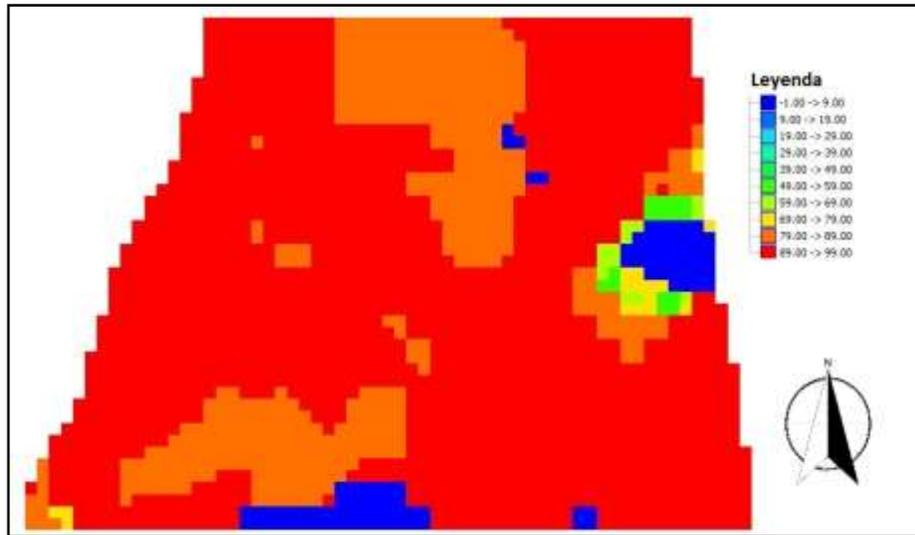


Figura 2.11. Concentración de CaCO_3 .

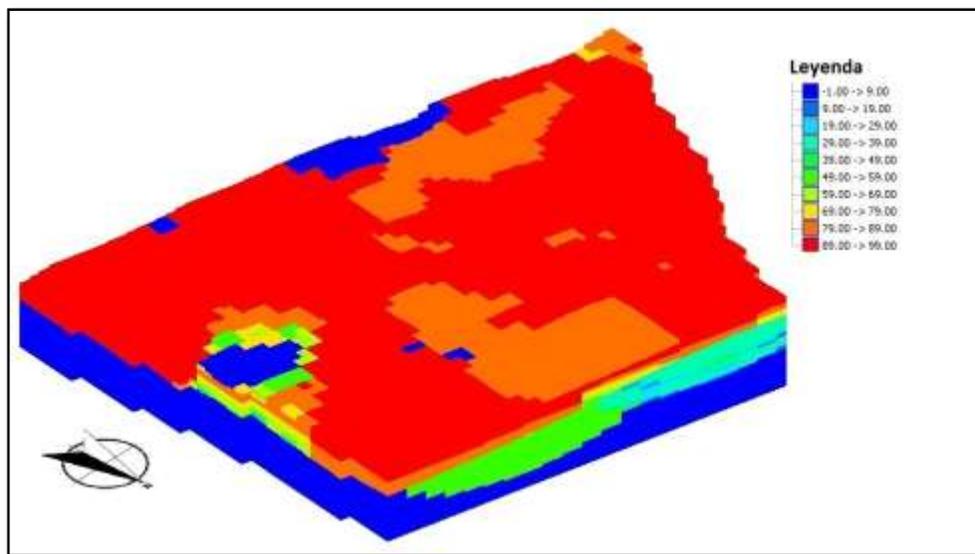


Figura 2.12. Concentración de CaCO_3 en perspectiva.

2.3.4. Producción y maquinaria

Para analizar la producción es necesario tomar en cuenta la cantidad de material que se encuentra en el terreno, de manera general, este dato no indicaría ningún tipo de reserva de la mina.

Para esto se hará un reporte de calidades, al igual como se hizo con la concentración de bloques, se hará de cada compuesto químico presente en el terreno; y a su vez se hará este reporte cada 10m. El reporte mencionado está en la parte de anexos para una mejor visualización. Este reporte se hará desde -10 m.s.n.m. hasta la altura máxima 117 m.s.n.m. Además, se debe tomar en cuenta que a partir del sexto año se incrementará la producción, obviamente esto se ve reflejado en una mayor cantidad de material a remover, determinando así la maquinaria a emplearse, que son datos ya establecidos previamente.

2.4. Conclusiones

Para la conclusión de este capítulo se hará un análisis en conjunto de la información proporcionada, modelo de bloques, cantidad de material, porcentaje de material presente cada 10 metros, litología, etc.

- La topografía es relativamente plana por lo tanto las vías mineras, cotas de explotación e inicio de actividades se podrá definir con énfasis en la calidad requerida en planta.
- La mayor cantidad de CaCO_3 se encuentra en la unidad de calizas, y sus mayores concentraciones esta aproximadamente desde los 60 m.s.n.m. (86.21% CaCO_3) incrementándose progresivamente este valor hasta la altura máxima del terreno 117 m.s.n.m. (93.36% de CaCO_3).
- Al igual que el CaCO_3 existe una gran cantidad de CaO presente en el terreno, de valores muchos menores que el anterior, pero de gran importancia.
- Los contenidos de Al_2O_3 , Fe_2O_3 y SiO_2 van reduciendo mientras los valores de CaCO_3 y CaO aumentan.
- En cuanto a CaCO_3 , la parte superior del terreno del área de interés es muy rica, disminuyendo justamente en la parte donde se encuentran las arenas superiores.
- En las arenas superiores la cantidad de SiO_2 es ligeramente superior.

CAPÍTULO III

SIMULACIÓN EN SURPAC® Y MINESCHED®

3.1 Introducción

En el presente capítulo se describirán los pasos primordiales que fueron ejecutados en los programas informáticos a utilizarse en el desarrollo de la secuencia de minado: Surpac® y Minesched®; además de sus resultados. El programa esencial para la realización de la secuencia es Minesched®; en el cual, se puede ingresar restricciones y ciertos parámetros para poder elaborar una secuencia de explotación basándonos en un límite de *pit* determinado. Estos parámetros y restricciones son establecidos de la información de entrada, la cual se desarrolló en el capítulo anterior. Como programa secundario se empleará el programa Surpac®, con el fin de definir perfiles, tonelajes a explotar y restricciones que serán útiles en Minesched®.

3.2 Surpac®

Surpac® es un programa líder en la planificación minera y geológica, grandes campos de la ingeniería en minas. Este programa está destinado para geólogos, topógrafos e ingenieros en minas, teniendo la capacidad de ser adaptable para análisis de yacimientos y otros métodos de minería (Gemcom).

En este trabajo se realizaron múltiples acciones en Surpac® con el fin de utilizar la información de entrada y hacerlas útiles para el programa de secuencia de minado. Con este programa se realizaron las siguientes acciones.

- Análisis de información de modelo de bloques.
- Distribución de calidades del modelo de bloques.

- Elaboración de perfiles.
- Restricciones necesarias para la secuencia.
- Elaboración de atributos en el modelo de bloques.

3.2.1 Modelo de bloques

Una de las principales acciones que se llevó a cabo en Surpac®, fue el análisis de información de entrada. En este punto, se puede analizar la información del modelo de bloques, la cual debe ser correctamente interpretada para coincida con la información y los requerimientos solicitados (Capítulo 2). El contenido de estos modelos de bloques puede ser muy variado, puede contener calidades de materiales, composiciones litológicas, costos de extracción, condiciones geomecánicas, volumen, gravedad específica, etc. En su centroide el modelo de bloque, de este proyecto en específico, contiene la siguiente información:

Tabla 3.1. Atributos de los bloques.

Parámetro	Descripción
Alúmina (Al_2O_3)	Contenido de alúmina (%)
CA	Coeficiente de alúmina
Carbonato de calcio (CaCO_3)	Contenido de CaCO_3 (%)
Cal (CaO)	Contenido de CaO (%)
Categoría	Recursos Medios
	Recursos Indicados
	Recursos Inferidos
CS	Coeficiente de sílice
Óxido de hierro (Fe_2O_3)	Contenido de Óxido de hierro (%)
FSC	Saturación de cal
Litología	Caliche
	Calizas
	Arenas Basales
	Arenas Superiores

Gravedad específica	Gravedad específica de materiales
Sílice (SiO ₂)	Contenido de sílice (%)

Con estos datos inherentes del modelo de bloque, se puede realizar el análisis de los lugares en donde se encuentra una mayor concentración de cierto material específico. Este bloque representado tiene una dimensión mínima de 25m de ancho, 25m de largo y 2,5m de alto y existen un total de 25959 bloques.

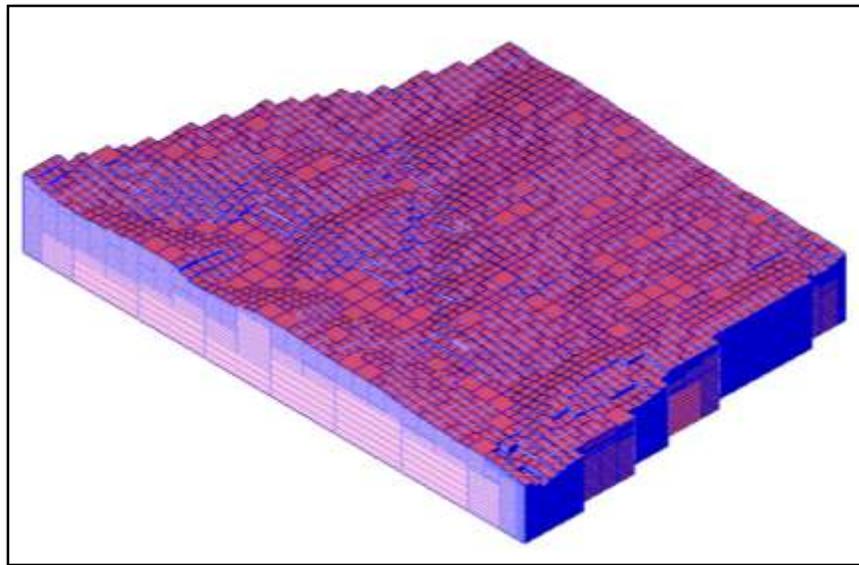


Figura 3.1. Distribución de modelo de bloques.

Surpac® ofrece la posibilidad de generar reportes basándonos en el parámetro que se desee analizar, inicialmente se realizó reportes de calidad de parámetros de las diferentes composiciones químicas de los bloques y de sus capas geológicas. Para este trabajo se realizarán análisis de calidad de los siguientes parámetros: alúmina, cal, carbonato de calcio, sílice, y óxido de hierro por tipo de material. Los resultados se pueden encontrar en los anexos en la parte final de este trabajo.

3.2.2. Perfiles

En un proyecto de explotación minera, sin importar el material del cual se quiere obtener un beneficio económico, se debe conocer el terreno y como está compuesto; ya que este va a ser nuestro lugar de trabajo, donde se van a extraer los minerales. Para realizar esto se debe generar perfiles; los cuales nos van a indicar la composición del terreno.

En este trabajo de graduación se realizaron tres perfiles: dos en sentido este-oeste y uno en sentido norte-sur para cada parámetro (alúmina, carbonato de calcio, cal, óxido de hierro y sílice). En total resultaron 15 perfiles, los cuales se pueden observar en la parte de anexos y sus respectivos análisis se encuentran en el capítulo 2.

3.2.3. Atributos

Los atributos dentro de un modelo de bloques son en pocas palabras la información contenida dentro del bloque. El objetivo de estos es poder hacer una clasificación sencilla de los bloques según los parámetros que creamos importantes. La lista de los atributos del modelo de bloques ya fue expuesta en la Tabla 3.1. Pero además de conocer los atributos que conformaban el modelo de bloques fue necesario crear uno más, con el objetivo de que, en el momento de la simulación de la secuencia de minado, el proceso de extracción de material sea más sencillo.

Basándonos en la información de entrada, específicamente en la calidad del material, se va a crear un atributo el cual se lo llamará “materiales”; que contendrá el tipo de material que se necesita explotar. Este atributo solo va a cuantificar el material que está por encima de la geometría final. Y se dividirá en los siguientes tipos:

- Agregados.
- Material para caliza de adición.
- Material para caliza de clinker.
- Material que se encuentra fuera de la geometría final del *pit*.

Los tres primeros materiales son los de interés, ya que el último por obvias razones, no es necesario cuantificarlo.

3.2.3.1. Agregados

Se denominará como agregado a todo el material el cual esté en los primeros 10 metros de profundidad de la superficie del terreno y que se encuentre dentro de la geometría final del *pit*; sin importar su contenido de calidad de CaCO_3 , CaO o cualquier otro tipo de compuesto.

3.2.3.2. Material para caliza de adición

El material para este se denominará, a todo aquel que se encuentre por debajo del material de agregado, que este dentro de la geometría final del *pit* y que contenga la calidad especificada en la información de entrada.

3.2.3.3. Caliza de clinker

El material denominado “material para caliza de clinker” va a ser el que se encuentre por debajo de los agregados, dentro de la geometría final del *pit* y que contenga la calidad especificada en la información de entrada.

Una vez realizado esta clasificación del modelo de bloques por el tipo de material se puede realizar un reporte en donde conste el volumen y el tonelaje de cada material. Este reporte se encuentra en Anexos.

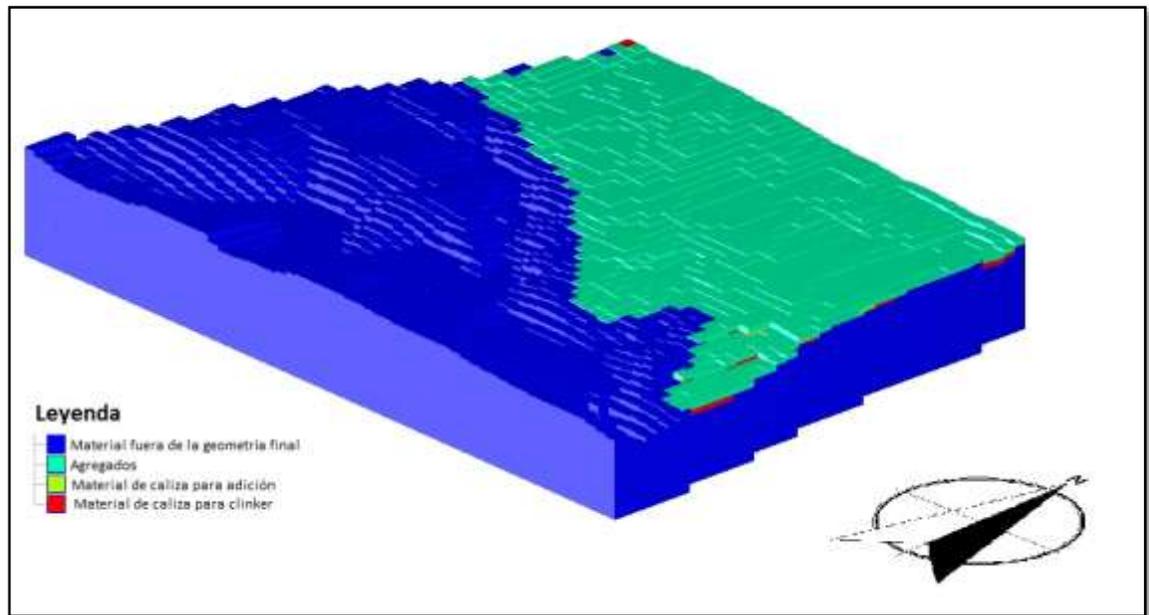


Figura 3.2. Modelo de bloques, clasificado por tipo de material.

3.2.4. Restricciones

En este programa se pueden realizar “restricciones” las cuales pueden ser un archivo el cual se lo podrá usar un sin número de veces; o bien uno de carácter gráfico; este último tipo de restricciones no se conserva en el tiempo una vez cerrado el programa. Pero ¿Qué es una restricción?

Se entiende como restricción o “*constraint*”, a ciertos valores o condiciones que se aplican a un modelo de bloques. Por ejemplo:

Se tiene un modelo de bloques al cual queremos dejar visibles y manejar solo aquellos que están por debajo de una superficie específica. Al aplicar la restricción en el modelo de bloques solo serán visibles los que cumplen con la restricción establecida.

Existen restricciones de muchos tipos, basándose en: superficies, otros archivos de restricciones, valores de atributos del modelo de bloques, una ecuación de una

superficie, un punto X, Y o Z con la posibilidad de determinar si la restricción está dentro o fuera de cierto modelo de bloques, o por encima o debajo de una superficie.

En este caso se realizaron múltiples restricciones. Una de ellas es los bloques que se encuentran por encima de la geometría final del *pit*. Otra restricción son los bloques que pertenecen a los diferentes tipos de materiales mencionados en el punto anterior: agregados, calizas para adición y caliza para clinker. A continuación, se encuentran las ilustraciones del resultado final de las restricciones. Figuras: 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7.

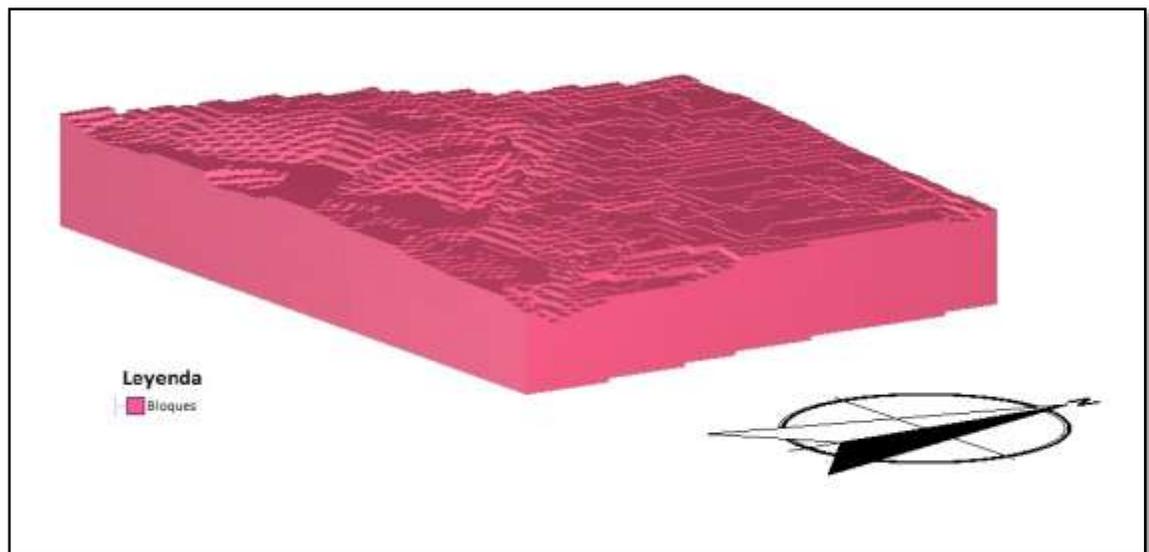


Figura 3.3. Modelo de bloques sin restricciones.

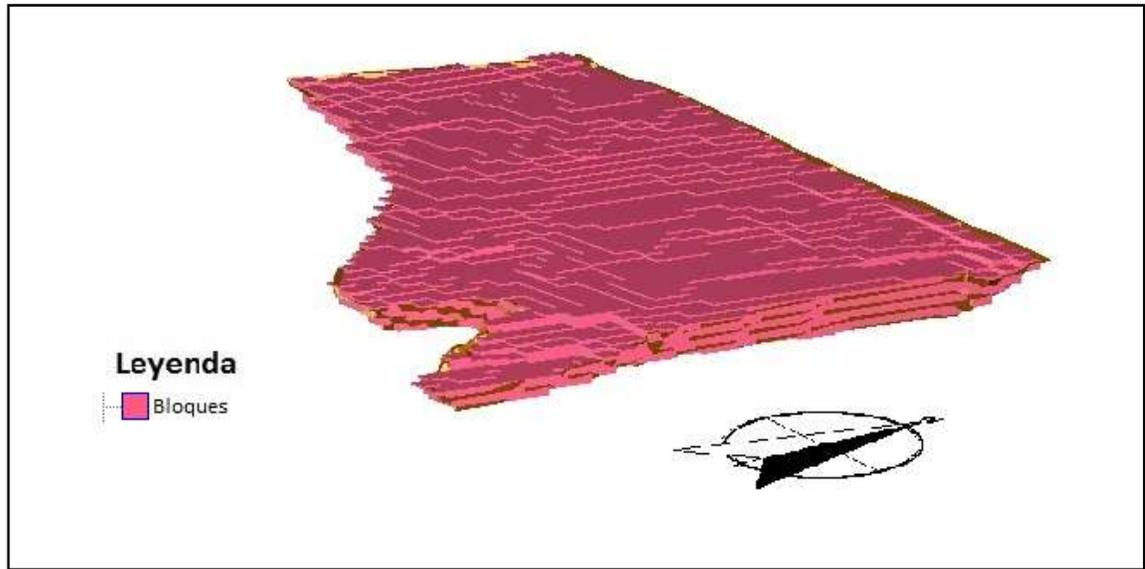


Figura 3.4. Restricción de bloques dentro de la geometría final del pit.

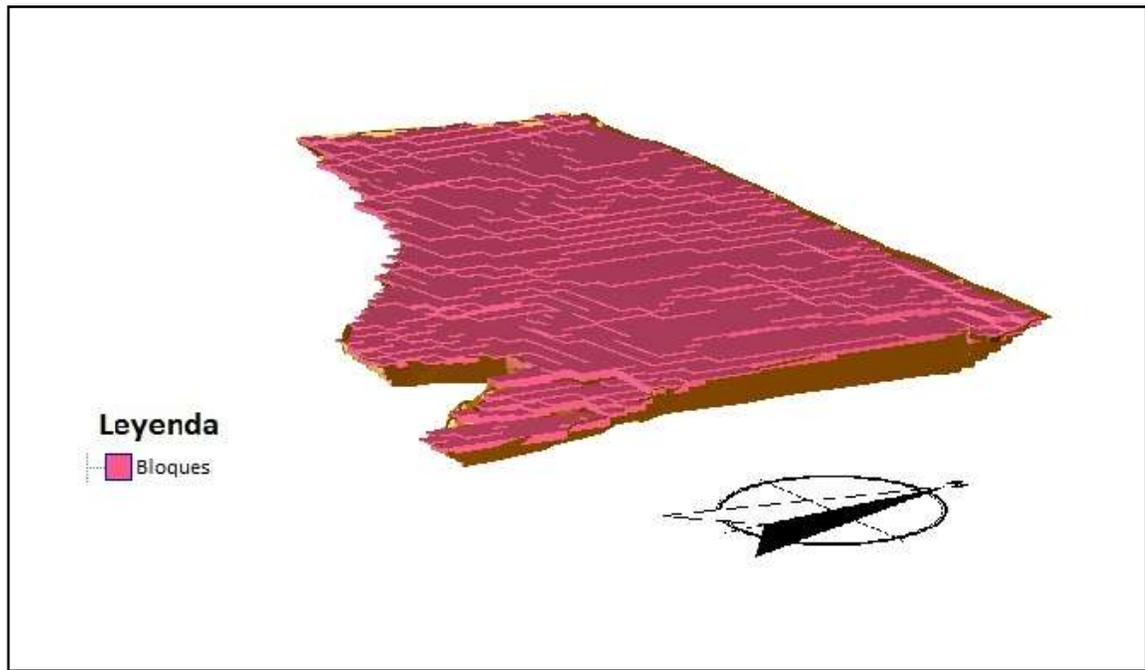


Figura 3.5. Restricción de bloques de agregados.

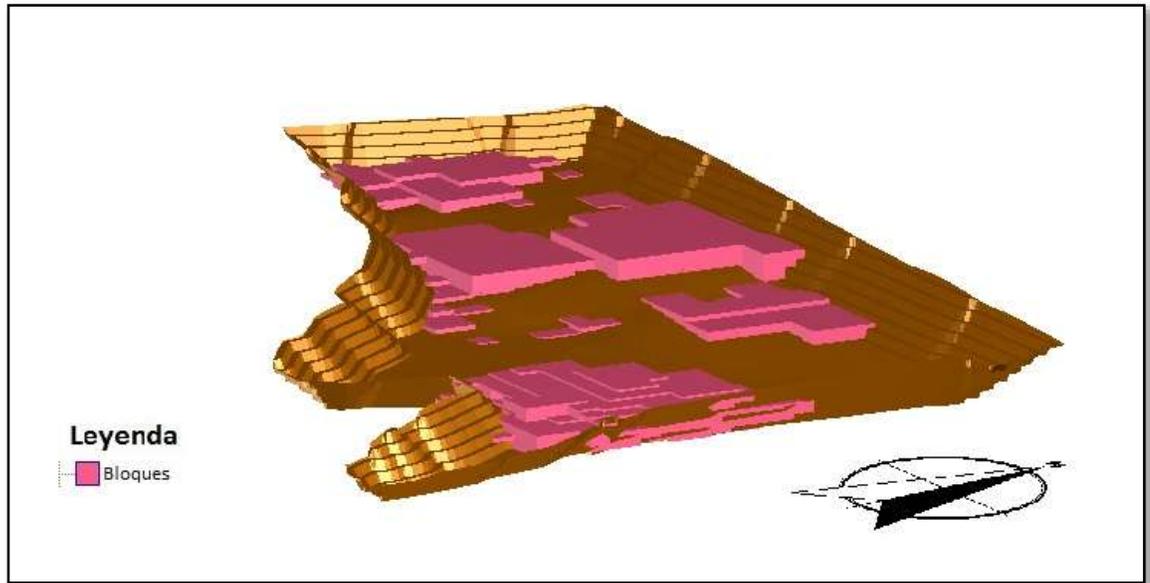


Figura 3.6. Restricción de bloques de adición.

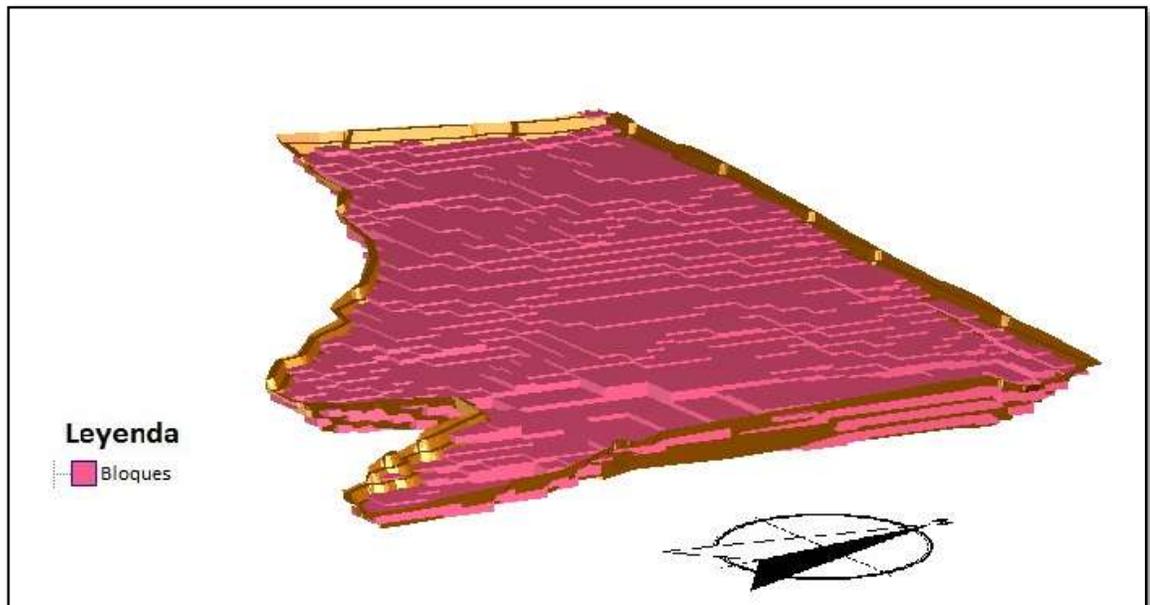


Figura 3.7. Restricción de bloques de clinker.

3.3 Minesched®

Este programa informático es una herramienta de planificación minera que puede ser aplicada en minas de superficie o subterránea. Minesched® puede proyectar la producción de una mina dentro de un tiempo determinado, además se puede programar el desarrollo de la mina y el orden en el cual se va a extraer el material; todo esto basado en restricciones o condiciones, las cuales se las puede especificar en este programa.

Como se dijo anteriormente este programa se usa de manera conjunta con Surpac® y además tiene una muy buena compatibilidad con Microsoft Excel y Microsoft Project; lo que hace de este programa una herramienta universal y de buena aplicabilidad, en cuanto secuencia de minado (Gemcom, 2009).

En este programa es donde se realizará la secuencia de minado propiamente dicha y todos los pasos anteriores, toda esa preparación de la información fue necesaria para este punto. Los pasos que se realizaron en este programa son:

- Modelo de bloques
- Locaciones
- Movimientos
- Recursos
- Parámetros
- Simulación
- Verificación de objetivos
- Resultados

Cabe recalcar que toda la información hasta ahora obtenida, modificada, establecida y adicionada se utilizará en el proceso de secuencia en Minesched®.

3.4 Resultados

Después de ingresar la información necesaria, establecer los parámetros, corregir valores, generar varias secuencias, se pudo llegar a los resultados que se presentan a continuación. Estos tienen su orden generado por el programa y cumple con ciertos parámetros establecidos.

La explotación del recurso empieza desde la zona que se encuentra en el extremo sur de la geometría final del *pit*, debido a que ya se ha estado explotando el material en este lugar. El sentido del frente de avance tiene un azimut de 270° , es decir orientación este-oeste. A continuación, se presentará tablas y gráficas de la cantidad de material que se ha removido durante los 30 años de vida del proyecto.

Para esto se dividió los 30 años del proyecto en 10 períodos, de los cuales los cinco primeros son anuales y los cinco últimos son quinquenales, obviamente en los cinco últimos períodos la producción se va a incrementar debido a que es la acumulación de producción de cinco años. Para un mejor entendimiento de esto en la siguiente tabla se expone la producción por períodos basado en los objetivos de producción.

Tabla 3.2. Objetivo de producción requerida por períodos.

Período	Años	Desde	Hasta	Producción de caliza para clinker (ton)	Producción de caliza para adición (ton)	Producción de agregados (ton)
1	1	01/Ene/2017	29/Dic/2017	-	75,000	75,000
2	1	01/Ene/2018	29/Dic/2018	-	75,000	75,000
3	1	01/Ene/2019	29/Dic/2019	-	75,000	75,000
4	1	01/Ene/2020	29/Dic/2020	-	75,000	75,000
5	1	01/Ene/2021	29/Dic/2021	-	75,000	75,000
6	5	01/Ene/2022	29/Dic/2026	7'200,000	900,000	75,000
7	5	01/Ene/2027	29/Dic/2031	7'200,000	900,000	75,000
8	5	01/Ene/2032	29/Dic/2036	7'200,000	900,000	75,000
9	5	01/Ene/2037	29/Dic/2041	7'200,000	900,000	75,000
10	5	01/Ene/2042	29/Dic/2046	7'200,000	900,000	75,000
Total				36'000,000	4'875,000	750,000

Una vez realizada la secuencia minera en Minesched® se puede elaborar un gráfico con la cantidad de material removido. Gráfico. 3.1.

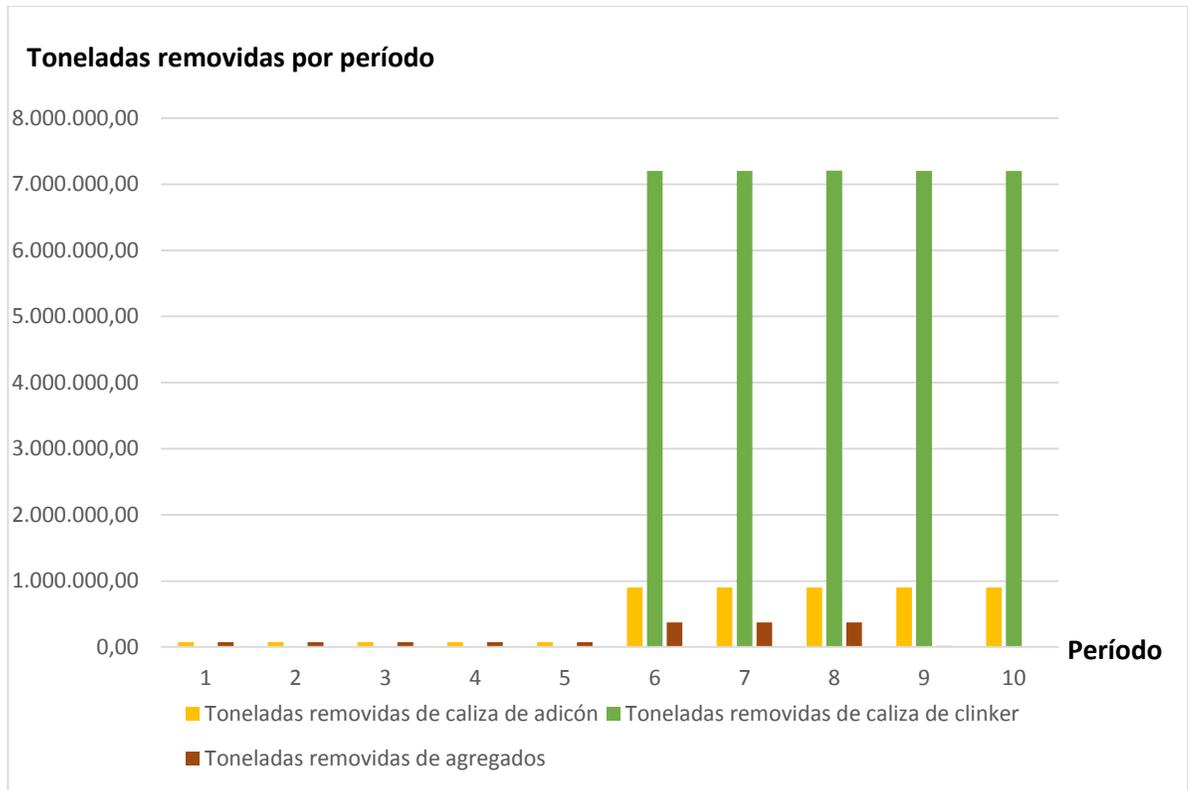


Figura 3.8. Material removido.

Como se ve en la figura los primeros cinco años hay una extracción constante de agregados y de caliza para adición, como se menciona en la información de entrada. A partir del sexto período se incrementa la producción de caliza de adición de 75,000 toneladas anuales a 180,000 toneladas anuales y la de agregados. Aunque en la gráfica aumenta, esta se mantiene constante debido a que los primeros cinco períodos son calculados anualmente, mientras que cada período de los últimos cinco, es quinquenal; y a partir del sexto período se da inicio a la producción de caliza para clinker.

En cuanto a los agregados podemos observar gráficamente que en el período nueve y diez ya no se extrae material, aunque en el noveno período se extrae alrededor de 15,000 toneladas, pero debido a la escala de la figura no se puede apreciar esta barra en el gráfico. En último período de extracción de agregados, no existe producción ya que se

acabó el material en el noveno período. Como recordatorio de los objetivos planteados inicialmente se dijo que el material para agregados se iba a explotar hasta la culminación de este recurso. A continuación, se tiene un gráfico en donde se indica el material extraído acumulado de cada período.

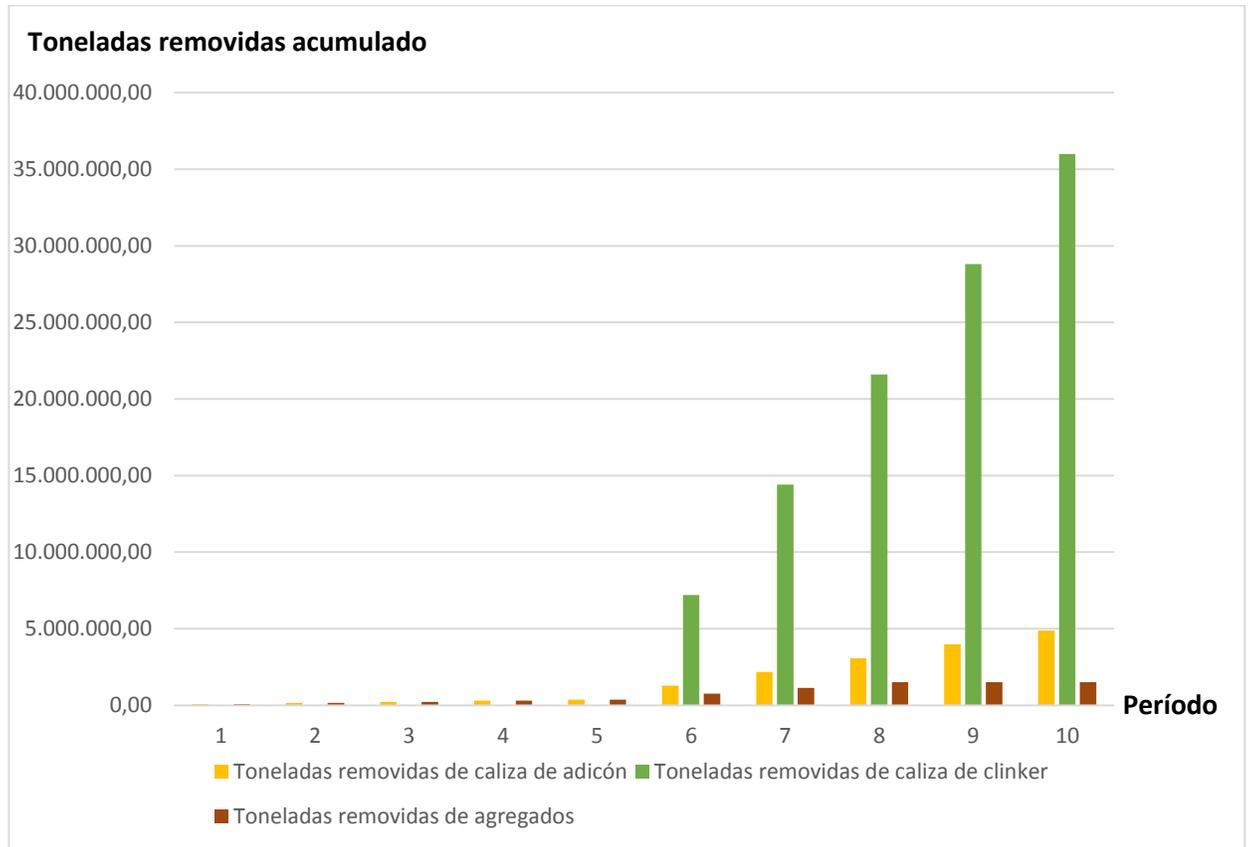


Figura 3.9. Toneladas extraídas acumulando todos los períodos.

La producción detallada que se consiguió fue la siguiente:

Tabla 3.3 Producción por períodos resultado de la simulación.

Período	Tonelaje de caliza para clinker removida	Tonelaje de caliza para adición removida	Tonelaje de agregados removidos
1		75.000	75.000
2		75.000	75.000
3		75.000	75.000
4		75.000	75.000
5		75.000	75.000
6	7.199.995	900.002	375.001
7	7.199.996	900.002	374.998
8	5.760.009	900.001	375.002
9		902.265	15.935
10		246.433	

En los anexos se presenta la representación gráfica de la extracción del material de todos los períodos.

En cuanto a la calidad de los materiales, se puede hacer una comparación de los objetivos que se plantearon en la información de entrada y los que se obtuvo en la simulación.

Tabla 3.4. Objetivo de calidades.

Materiales	CaO	CaCO ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
Material para clinker	47,5	84,78	2,75	14,5	3
Material para adición	47,05	0,84	0,004	0,315	-
Promedio	47,275	42,81	1,377	7,4075	1,5

Tabla 3.5. Resultado de calidades de la simulación.

Materiales	CaO	CaCO ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
Material para clinker	50,42	90	1,22	4,38	0,78
Material para adición	41,11	73,38	1,79	8,66	1,11
Promedio	45,765	81,69	1,505	6,52	0,945

3.5 Conclusiones

Al finalizar la simulación de la secuencia de minado en el proyecto “Najayo” y ya al mostrarse los resultados en gráficos, tablas e ilustraciones, se puede llegar a las siguientes conclusiones.

- La producción que se muestra en esta simulación cumple en gran parte con los objetivos planteados. Si bien no es la producción estipulada, es una muy aproximada.
- El tiempo de explotación de la mina se cumple con éxito, llegando a explotar el material durante los 30 años.

- Las calidades de los materiales de extracción en ciertos valores entran en el rango permitido. Mientras que en otros casos como lo es en la sílice y el óxido de hierro los valores que se obtienen están muy por debajo de los requeridos, esto se debe a la información contenida en el modelo de bloques.
- La cantidad de material existente en el límite del *pit* está muy por encima a la cantidad que se requiere en la producción especificada en la información de entrada.
- Debido al punto anterior la secuencia minera realizada llega a cierta altura (cota 60) y cumpliendo con los parámetros de producción.
- La secuencia de extracción de un mineral no se genera al primer intento, es necesario realizar varias correcciones y modificaciones con el fin de alcanzar los objetivos planteados.

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Introducción

Como capítulo final se tiene la una comparación con el proyecto de secuencia minera realizado por la empresa Soluciones en Geología y Minería S.A.S. El fin de esta comparación es encontrar aciertos y desaciertos en la secuencia de minado que se realizó en este trabajo de graduación. De igual manera se presentarán las conclusiones finales del proyecto.

4.2. Comparaciones

La empresa Soluciones en Geología y Minería S.A.S. brindó la información acerca de los resultados de su secuencia minera, la cual tiene los siguientes puntos:

- Cantidad.
- Calidad.

4.2.1. Cantidad

La información que se recibió acerca de este punto son tablas en donde se encuentra la cantidad de material producido o removido de los diferentes tipos de materiales: agregados, caliza de adición y caliza de clinker.

4.2.1.1. Agregados

Como se dijo anteriormente, el material denominado “agregados” va a tener una producción anual de 75,000 toneladas, hasta el agotamiento de este recurso.

En la simulación realizada en este trabajo ya se indicó las cantidades que se va a extraer, ahora haremos una comparación con el resultado obtenido por Soluciones en Geología y Minería S.A.S. Estas comparaciones se harán por medio de tablas y gráficos.

Tabla 4.1. Comparación de cantidad de material removido - agregados.

Período	Tonelaje de agregados removidos (secuencia)	Tonelaje de agregados removidos (secuencia de Soluciones S.A.S)
1	75,000	89,297
2	75,000	89,297
3	75,000	75,938
4	75,000	70,300
5	75,000	375,000
6	375,001	375,000
7	374,998	375,000
8	375,002	375,000
9	15,936	375,000
10		375,000

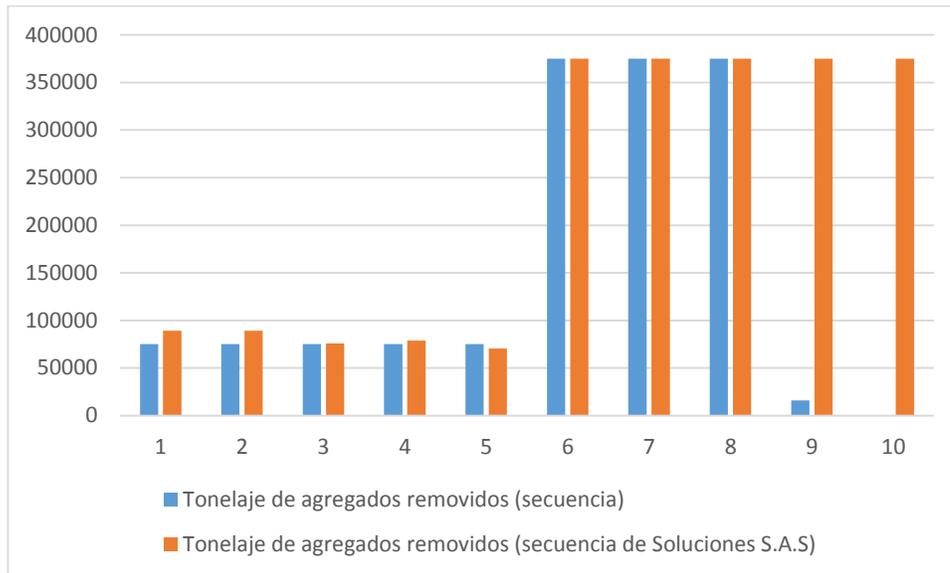


Figura 4.1. Comparación de cantidad de material removido - agregados (en columnas).

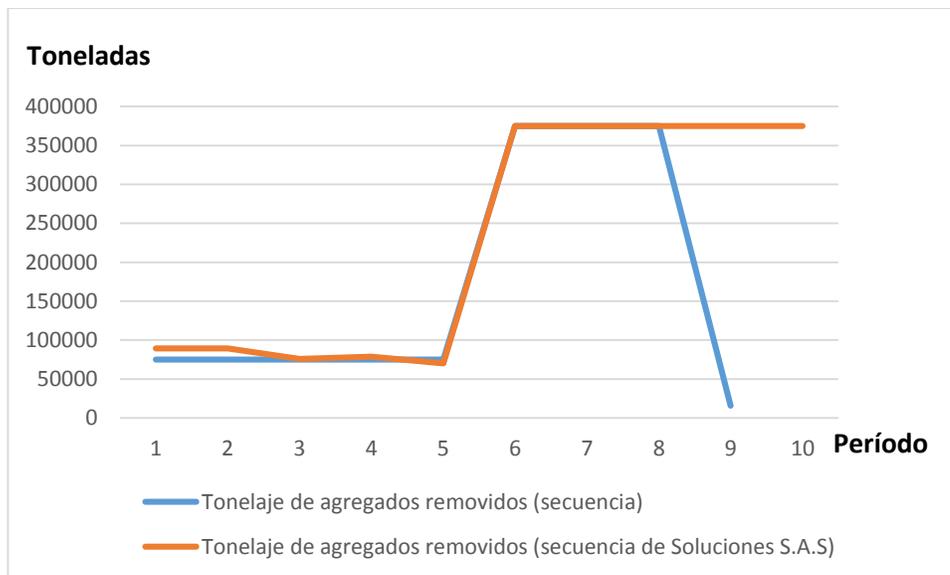


Figura 4.2. Comparación de cantidad de material removido - agregados (lineal).

En esta primera comparación podemos ver que los primeros cinco períodos de la secuencia realizada por la empresa Soluciones en Geología y Minería S.A.S. son

irregulares, pero no están alejados del objetivo de producción. Para el sexto período la producción en la secuencia realizada por la empresa se mantiene constante y es igual a la cantidad de material deseado. Por otro lado, la secuencia que se realizó para este proyecto de graduación: la producción llega solo hasta el noveno período, puesto que en ese momento se culmina la extracción de este material, para el décimo y último período no se extraerá nada de material de agregados.

4.2.1.2. Caliza para adición

Para la caliza de adición la cantidad de material prevista a explotarse es de 75,000 toneladas por año durante los primeros cinco años, mientras que desde el sexto año se aumentara la producción a 180,000 toneladas anuales. Esto quiere decir que, desde el sexto período en adelante, la producción será de 900,000 toneladas. En donde cada período tiene una duración de cinco años.

En cuanto a la caliza de adición se pudo obtener los siguientes resultados y comprándolos con los datos de la empresa Soluciones en Geología y Minería S.A.S. se obtuvo lo siguiente.

Tabla 4.2. Comparación de cantidad de material removido - caliza adición.

Período	Tonelaje de caliza de adición removidos (secuencia)	Tonelaje de caliza de adición removidos (secuencia de Soluciones S.A.S)
1	75,000	89,297
2	75,000	89,297
3	75,000	75,938
4	75,000	84,375
5	75,000	70,326
6	900,002	900,000
7	900,002	900,000
8	900,000	900,000
9	900,002	900,000
10	900,002	900,000

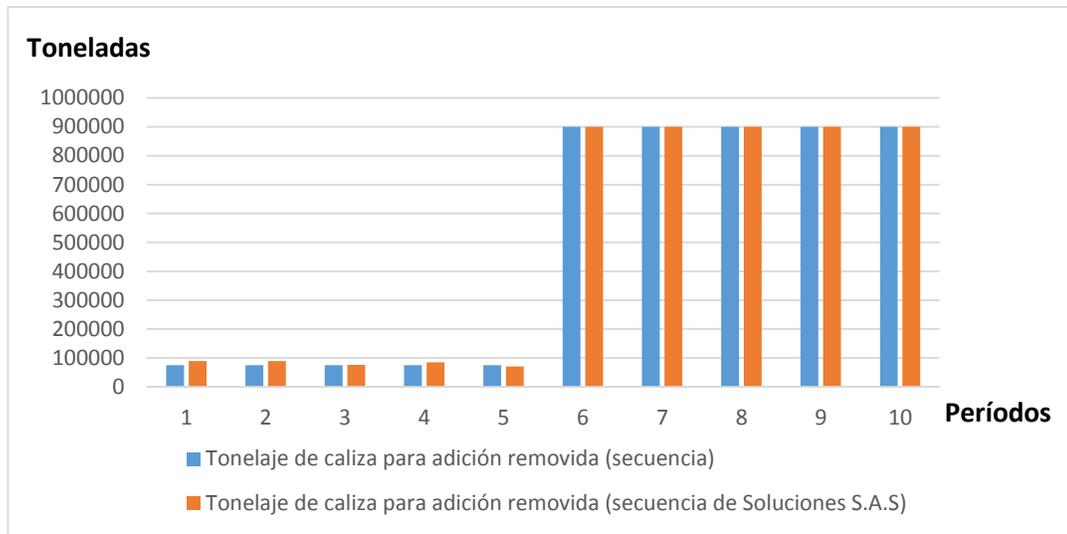


Figura 4.3. Comparación de cantidad de material removido - caliza adición (columnas).

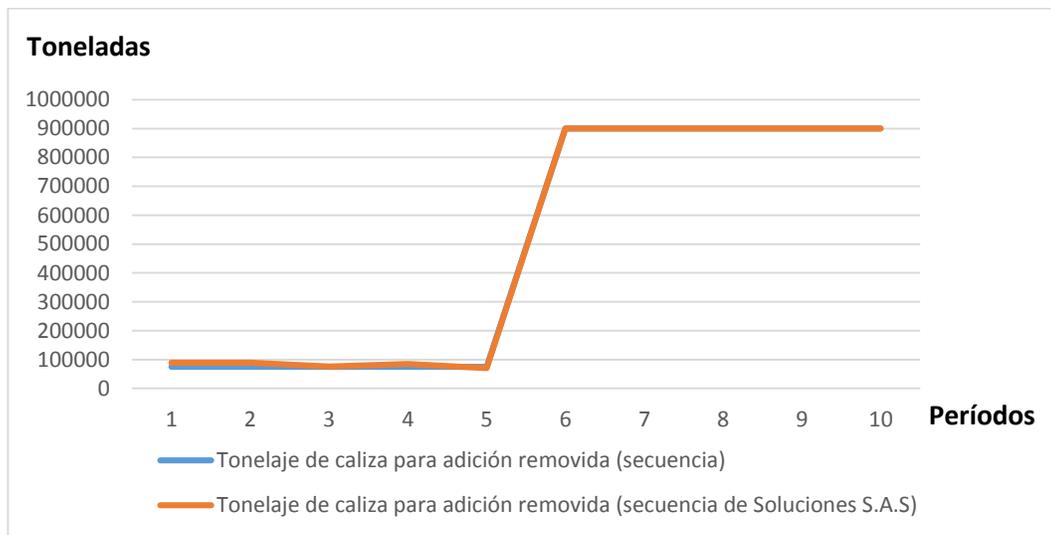


Figura 4.4. Comparación de cantidad de material removido - caliza adición (lineal).

En la secuencia realizada en este proyecto se puede apreciar que la cantidad de material extraído de los primeros cinco años es exacta y constante a lo que se pide en la

información de entrada. Mientras que a partir del sexto año (sexto período) se incrementa la producción como se estipula en los objetivos; y se extrae un poco más de toneladas de lo que se necesita, pero esta diferencia en comparación con el tonelaje final es insignificante.

Por otro lado, en la secuencia elaborada por Soluciones en Geología y Minería S.A.S. los primeros cinco años tiene una extracción de material que no es constante, unos años se explota 13,000 toneladas más aproximadamente en promedio y otro año explota aproximadamente 5,000 toneladas menos. Pero esta diferencia no afecta en gran medida el resultado final.

4.2.1.3. Caliza para clinker

Por último, se analizará la cantidad de caliza para clinker que se extraerá en la secuencia realizada en este proyecto y la secuencia realizada por Soluciones en Geología y Minería S.A.S.

Como está establecido, la producción para este tipo de material se iniciará a partir del sexto año, con 1'440,000 toneladas anuales o expresadas en períodos sería 7'200,000 toneladas por período. Al igual que con los otros dos tipos de materiales descritos anteriormente, se hará la comparación con una tabla y dos gráficas.

Tabla 4.3. Comparación de cantidad de material removido - caliza clinker.

Período	Tonelaje de caliza para clinker removidos (secuencia)	Tonelaje de caliza para clinker removidos (secuencia de Soluciones S.A.S)
6	7'199,996	8'786,563
7	7'199,996	8'964,219
8	7'199,999	9'050,937
9	7'199,996	8'376,719
10	7'199,996	8'406,250

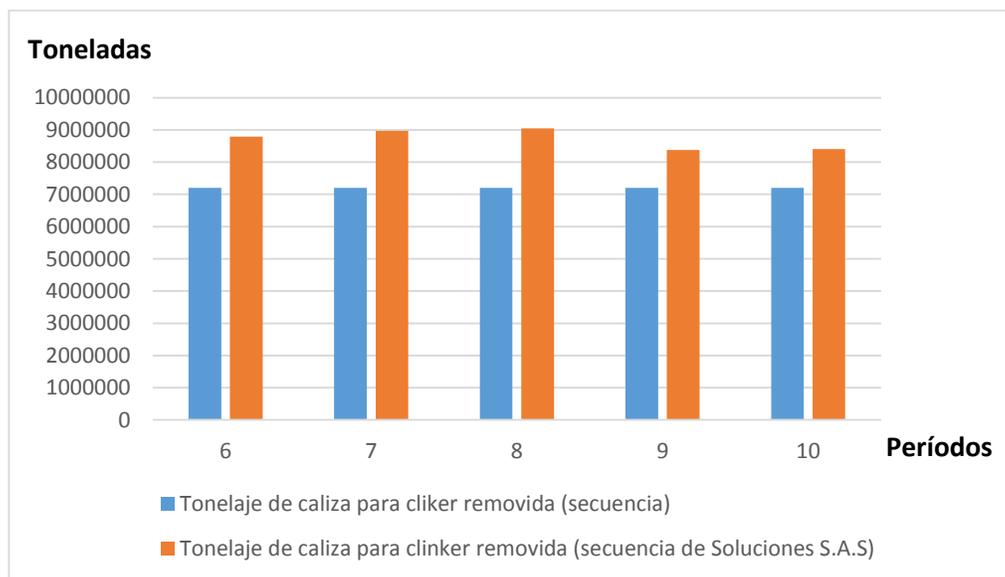


Figura 4.5. Comparación de cantidad de material removido - caliza clinker (columnas).

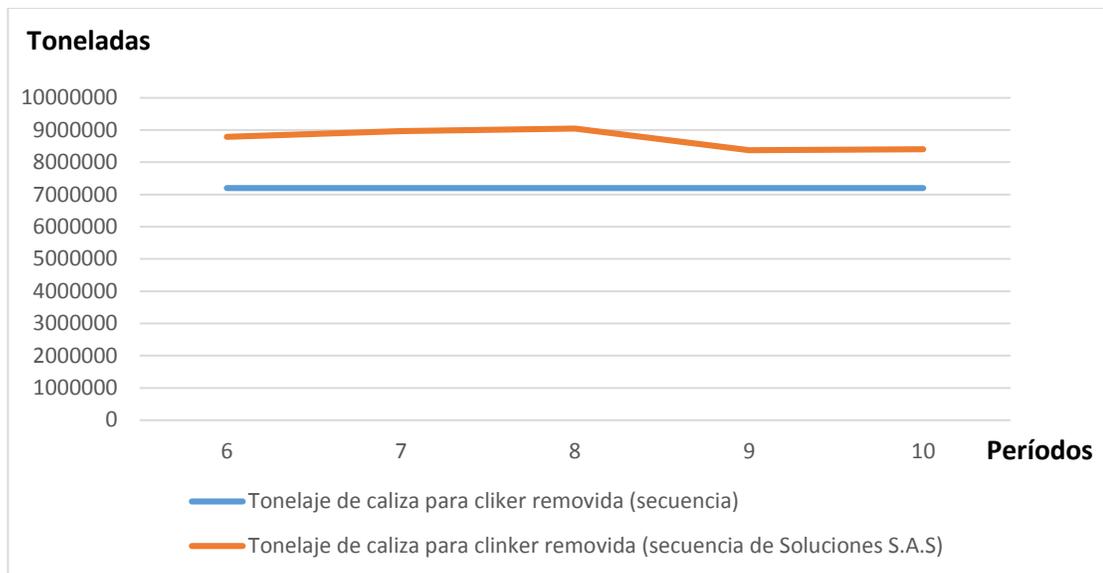


Figura 4.6. Comparación de cantidad de material removido - caliza clinker (lineal).

En esta última comparación, podemos ver que la producción realizada en este proyecto es constante durante todo el proceso de producción, aunque no llega al valor establecido en la información de entrada, pero es muy aproximada.

Mientras que en la secuencia realizada Soluciones en Geología y Minería S.A.S. la producción de material está muy por encima de lo que se requiere. La diferencia de material en este punto si es significativa.

4.2.2. Calidad

Para hacer la comparación del porcentaje de las calidades de los distintos materiales que se extraen del proyecto, vamos a tener en cuenta los rangos permitidos que se analizaron en la información de entrada.

La calidad está valorada por porcentaje de calidad de:

- Alúmina (Al_2O_3).
- Carbonato de calcio (CaCO_3).
- Cal (CaO).
- Óxido de hierro (Fe_2O_3).
- Sílice (SiO_2).

4.2.2.1. Agregados

En los agregados no se tiene límites o rangos de calidad de material, por lo que solo se hará una comparación con la calidad del material de agregados obtenido en la secuencia de la empresa Soluciones en Geología y Minería S.A.S.

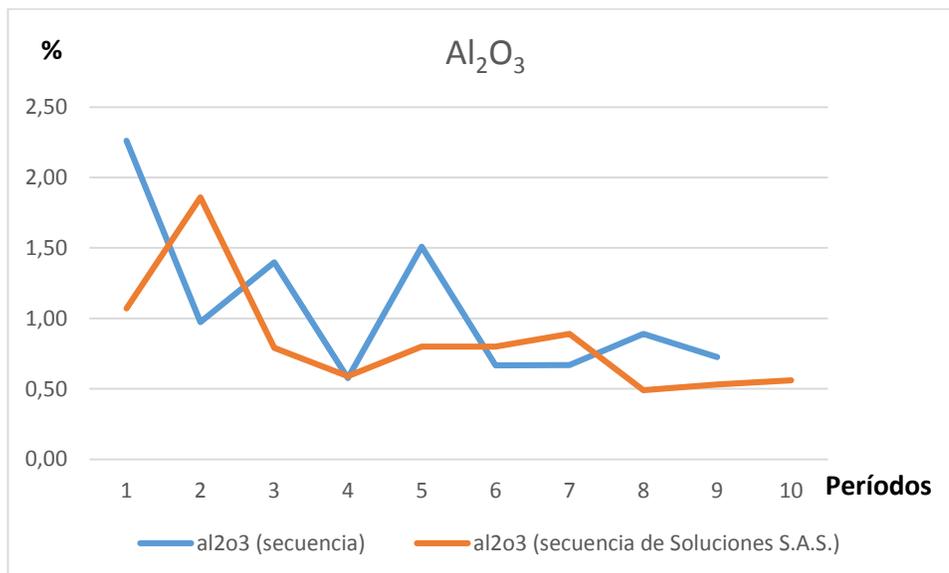


Figura 4.7. Calidades de agregados. Alúmina.

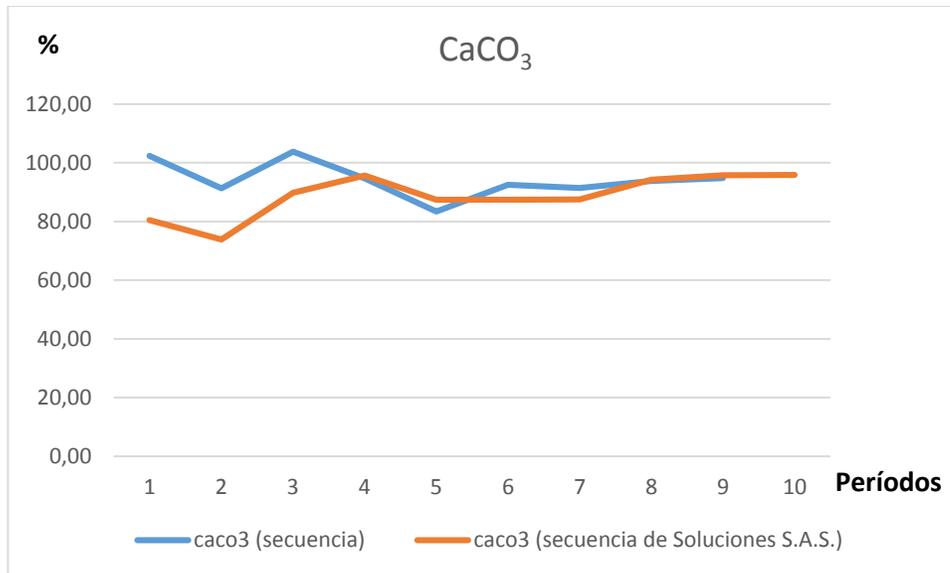


Figura 4.8. Calidades de agregados. Carbonato de calcio.

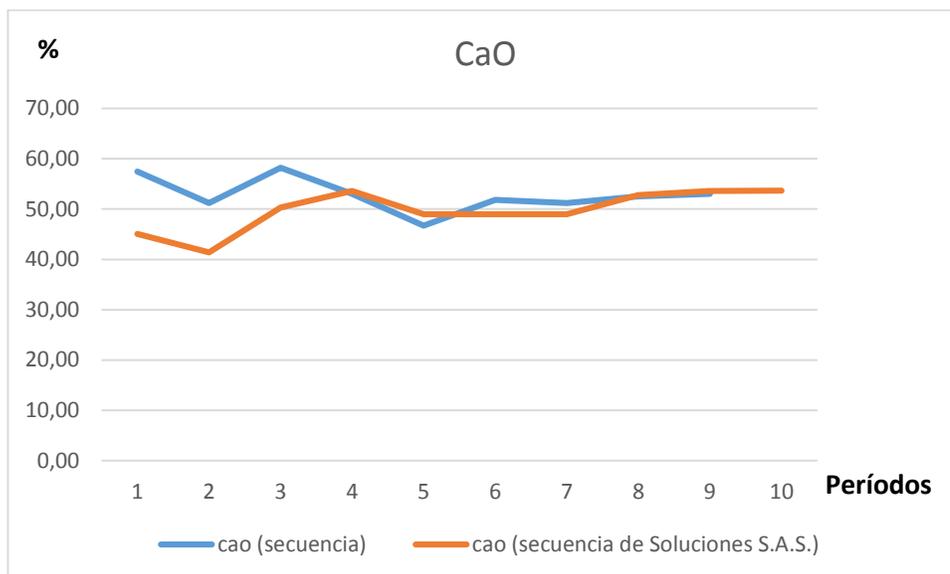


Figura 4.9. Calidades de agregados. Cal.

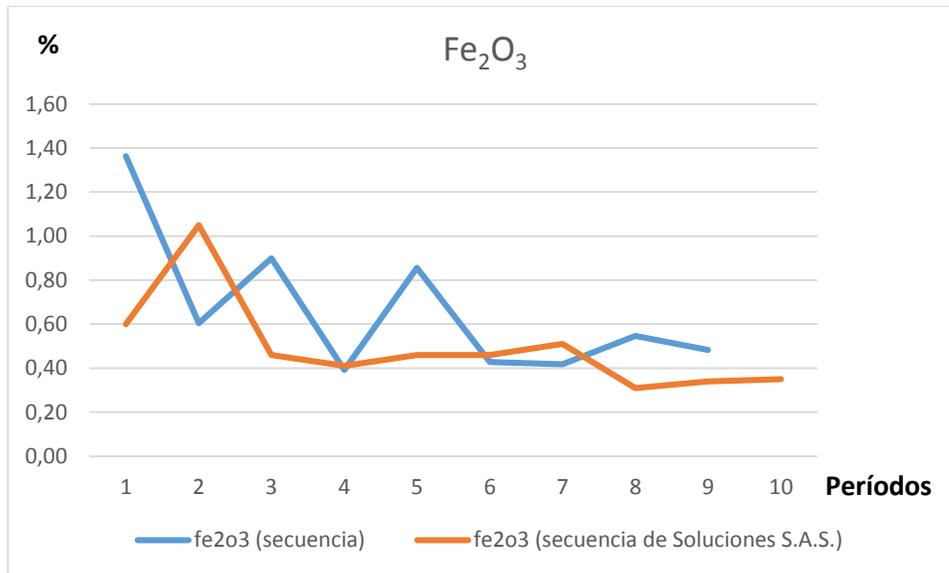


Figura 4.10. Calidades de agregados. Óxido de hierro.

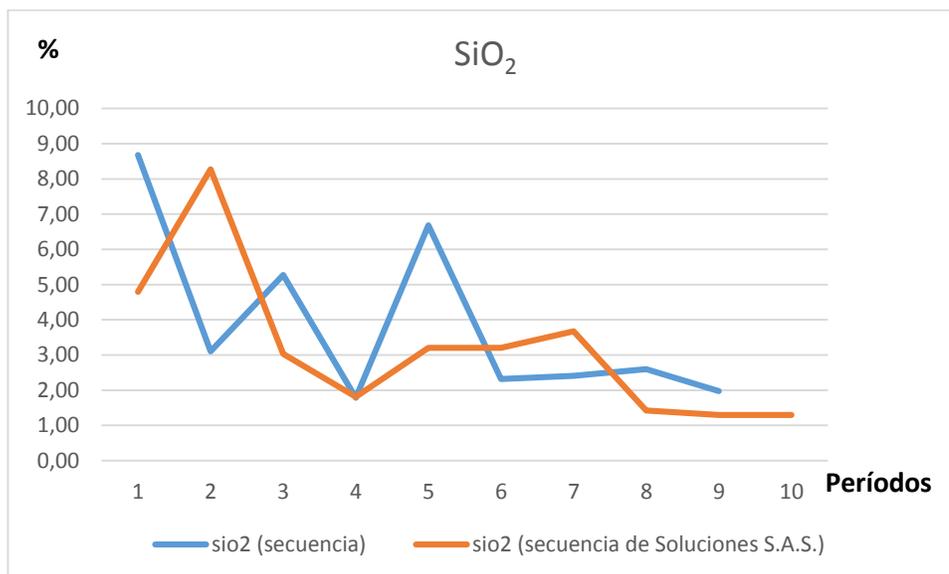


Figura 4.11. Calidades de agregados. Sílice.

Para el análisis de la calidad de los agregados, veremos cómo varía la curva entre los dos resultados.

En el caso de la alúmina, se puede notar que los valores de calidad están dentro del rango mínimo y máximo realizado por Soluciones en Geología y Minería S.A.S. a excepción del primer valor que es el que varía más. Sin embargo, la distribución de los datos no es similar.

Al hablar del carbonato de calcio y la cal, se observa valores similares a partir del cuarto período, antes de esto existe una variación notable.

Para el caso del hierro y de la sílice en la secuencia realizada en este trabajo de graduación se encuentran valores con una distribución no constante.

4.2.2.2. Caliza para adición

En la caliza denominada “caliza de adición”, se va a realizar la comparación de los siguientes componentes: alúmina, carbonato de calcio, cal y sílice. En este análisis se tomará en cuenta los rangos máximos y mínimos que se establecieron previamente en el Capítulo 2 de este documento.

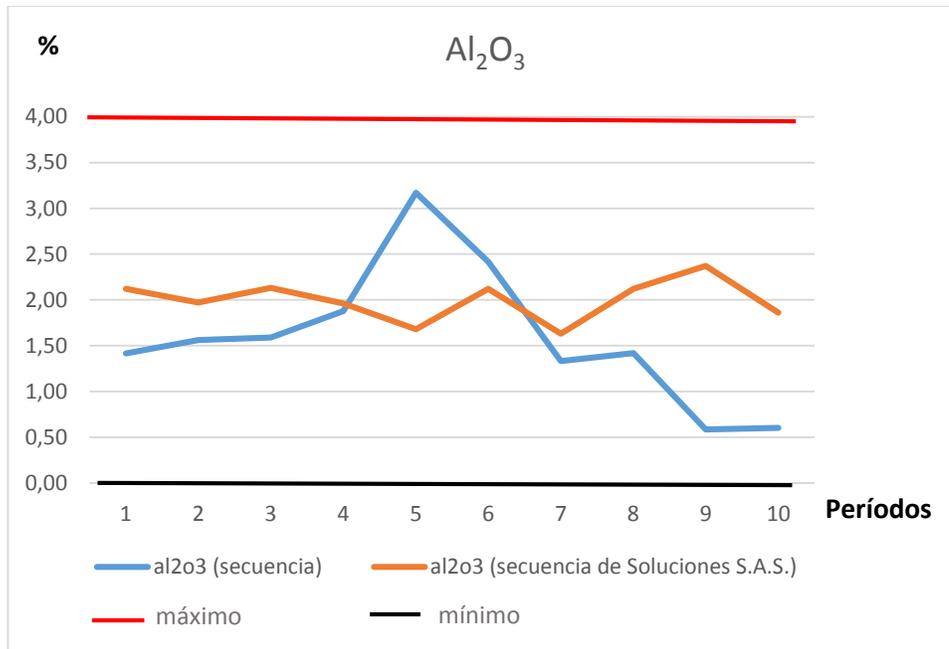


Figura 4.12. Calidades de caliza de adición. Alúmina.

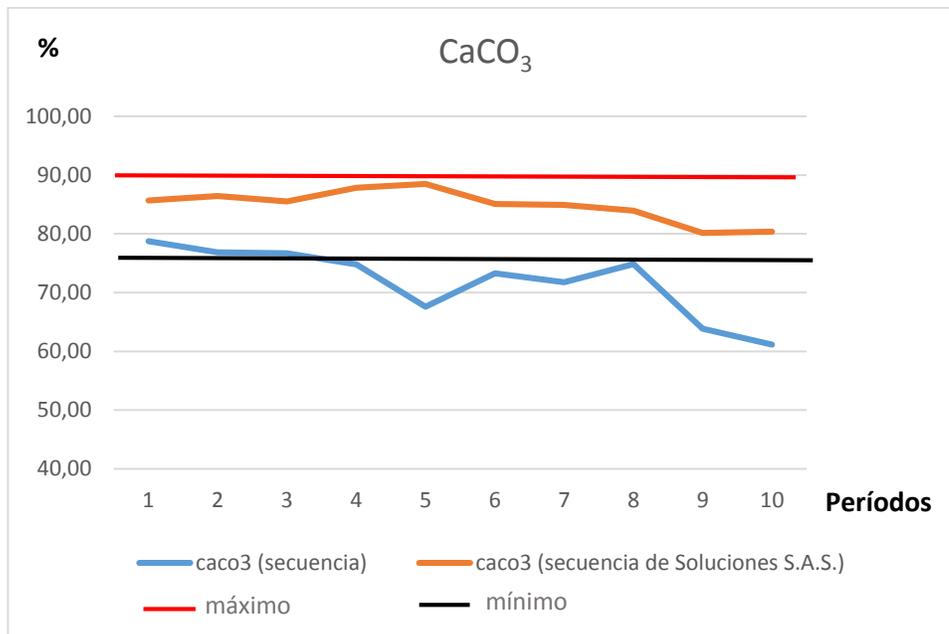


Figura 4.13. Calidades de caliza de adición. Carbonato de calcio.

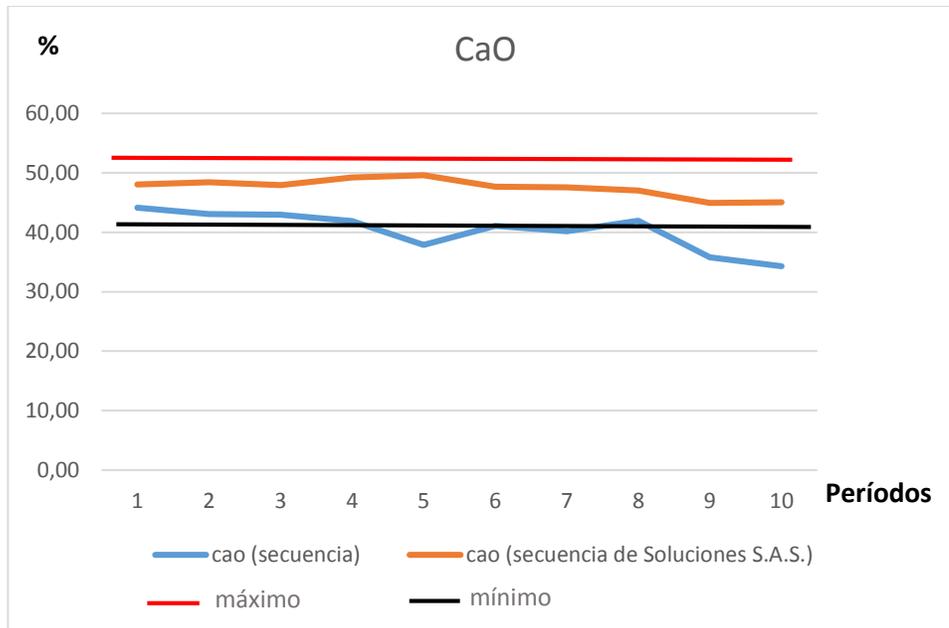


Figura 4.14. Calidades de caliza de adición. Cal.

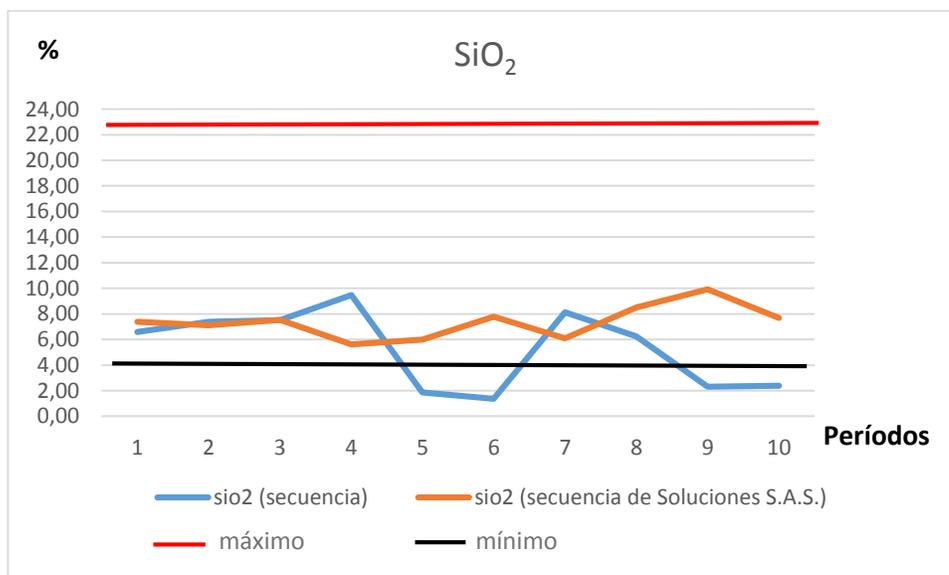


Figura 4.15. Calidades de caliza de adición. Sílice.

En el análisis del material de caliza para adición se obtiene que para su primer compuesto que es la alúmina el porcentaje de calidad obtenido en este trabajo está

dentro del rango establecido. Aunque los valores no tengan similitud con los resultados de la secuencia realizada por Soluciones en Geología y Minería S.A.S.

Si bien los valores del carbonato de calcio y la cal se encuentran rozando los límites mínimos y por debajo del mismo, las curvas son equivalentes. Siendo la cal el que más se aproxima al rango permitido.

Para la sílice se tienen cuatro valores los cuales están fuera del rango, estos se encuentran en el quinto, sexto, noveno y décimo período, siendo más notorio en el quinto y sexto.

4.2.2.3. Caliza para clinker

Para la caliza de clinker se analizará: alúmina, carbonato de calcio, cal, óxido de hierro y sílice. Cabe recalcar que este material se extraerá a partir del sexto año. Las gráficas de calidades para la caliza de clinker son las siguientes:

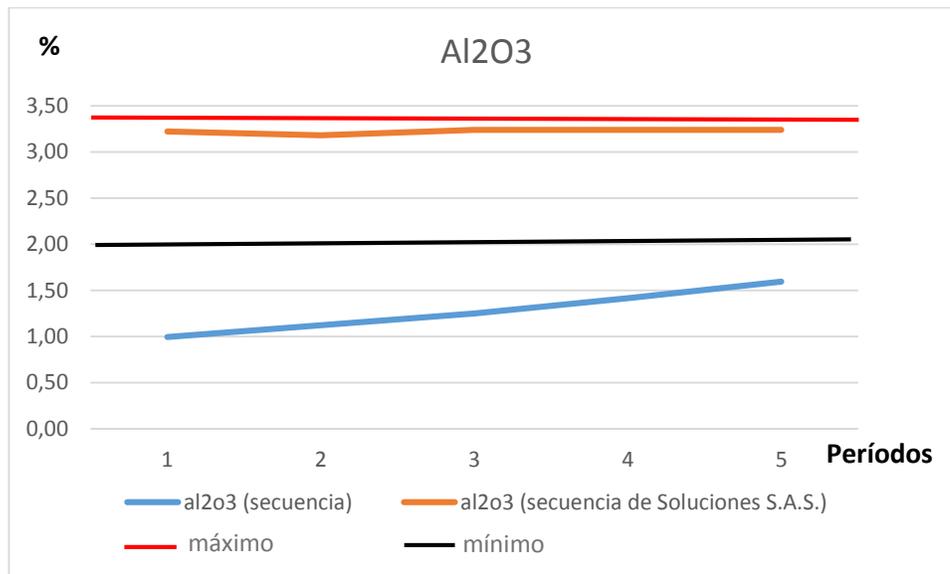


Figura 4.16. Calidades de caliza de clinker. Alúmina.

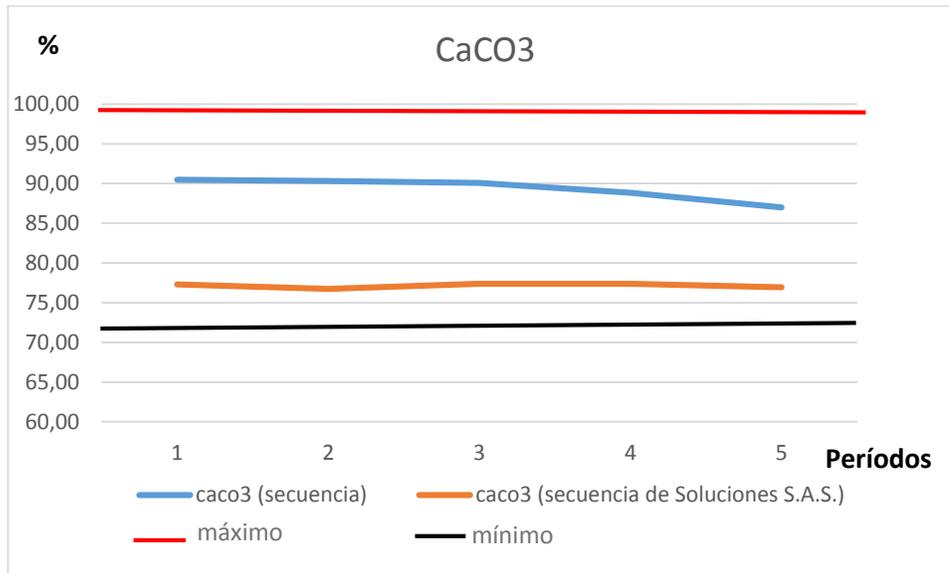


Figura 4.17. Calidades de caliza de clinker. Carbonato de calcio.

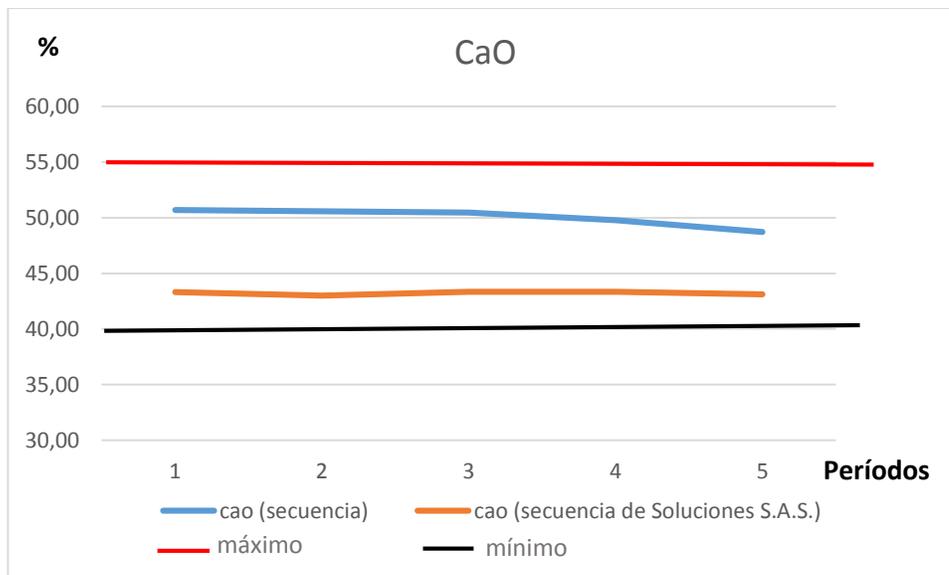


Figura 4.18. Calidades caliza de clinker. Cal.

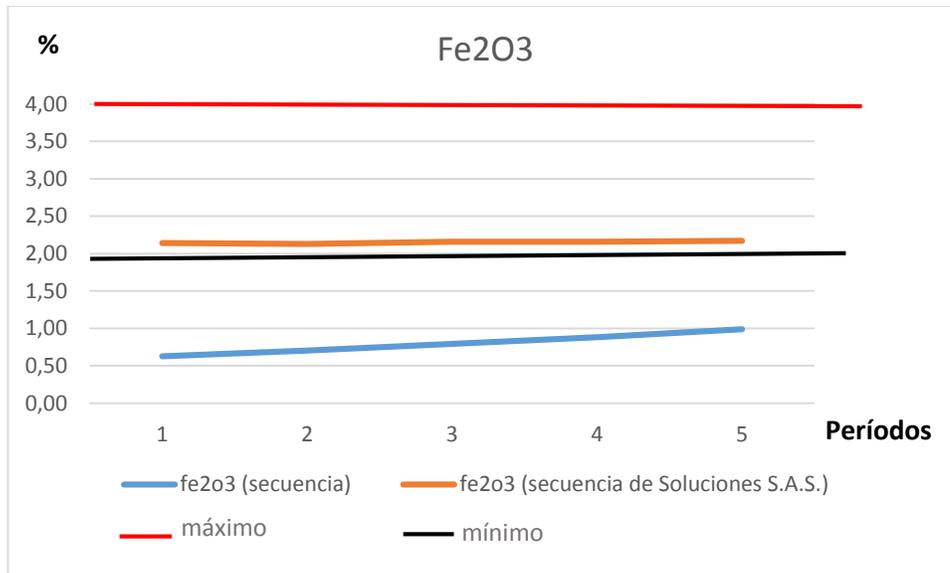


Figura 4.19. Calidades de caliza de clinker. Óxido de hierro.

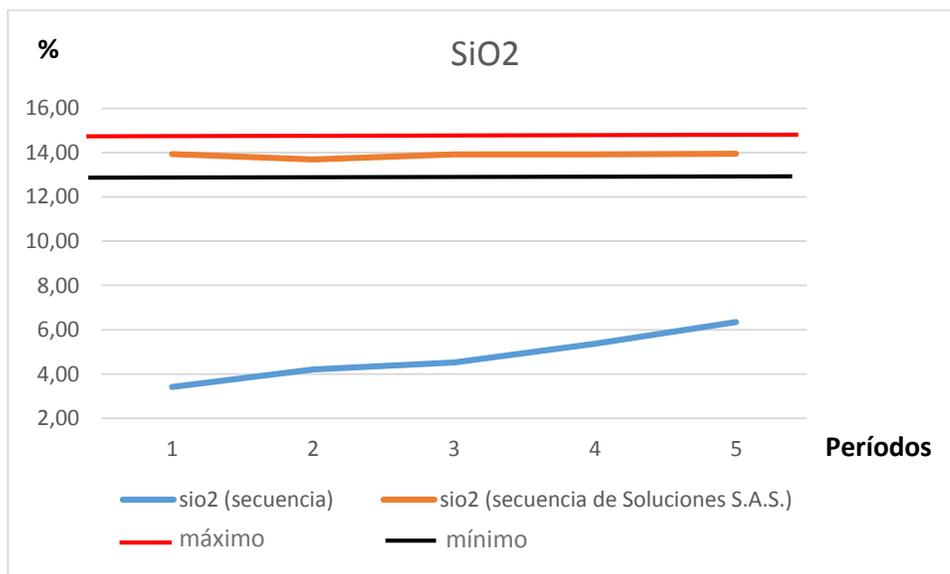


Figura 4.20. Calidades de caliza de clinker. Sílice.

Como último punto comparativo se tiene dos congruencias, que es en el caso del carbonato de calcio y la cal, los cuales se encuentran dentro del rango establecido de calidad y presentan un porcentaje más alto de contenido.

Mientras que, compuestos como alúmina, óxido de hierro y sílice, no se encuentran dentro de los límites requeridos, aunque esta diferencia no es muy grande, la calidad de material no es el óptimo.

Como dato extra, en los resultados de calidades de sílice realizado por la empresa Soluciones en Geología y Minería S.A.S. los valores de dicho compuesto se encuentran dentro del rango, pero en el modelo de bloques, ningún bloque sobrepasa el 11% de contenido de sílice, así que ni haciendo un promedio, ni mezclando con otros materiales del proyecto se va a conseguir esa calidad de clinker, al no ser que se traiga material de otro sector.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

Después de aprender, practicar en los programas informáticos y elaborar un sistema de secuencia de minado, del cual en un inicio no se tenía conocimiento alguno se pueden llegar a diferentes conclusiones.

- Se pudo concluir con una secuencia de minado de una mina a cielo abierto de caliza, con varios resultados, como son: gráficas, tablas e ilustraciones.
- Se analizó los datos de entrada a profundidad y se pudo conocer que datos eran fundamentales en el momento de utilizarlos en la elaboración de la secuencia, se analizó: producción, tiempo de vida, calidad de material, información geológica, topográfica, modelo de bloques, días laborables, etc.
- Se pudo hacer una introducción al mundo de la planificación minera por medio de la utilización de software; como se dijo en algún momento en este documento, la planificación minera contempla un gran número de interrogantes, la secuencia de minado es una pequeña parte. Y con esto se pudo conocer una herramienta muy útil, la cual con práctica se puede dominar a la perfección y generar resultados muy precisos.
- Los conocimientos aprendidos durante este corto período fueron puestos en práctica, en la simulación de un proyecto real. El proyecto “Najayo” fue el partícipe de este proceso de secuencia minera, con lo cual se logró obtener resultados propios.
- El trabajo presenta ciertas similitudes y cumple una gran cantidad de parámetros establecidos en la información de entrada.
- La cantidad de material a explotar está muy por debajo de la cantidad total de material del *pit* final.
- Las toneladas removidas como resultado de la secuencia corresponden a lo estipulado en la información de entrada.

- No todos los componentes de los cuales está conformado los materiales (agregados, caliza para adición, caliza para clinker) cumplen con lo requerido; esto hace que no sea un material óptimo para entrar al proceso de planta.

Recomendaciones:

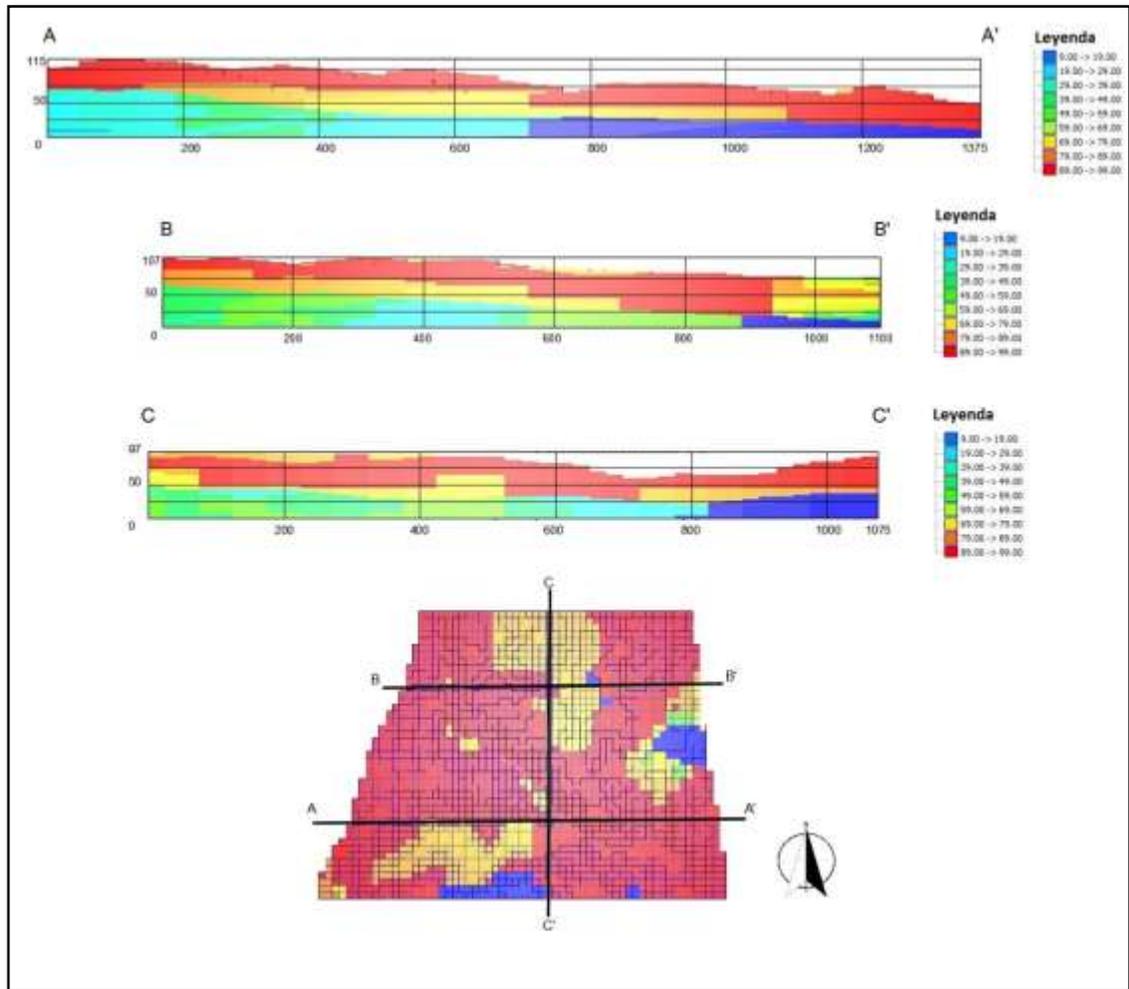
- La información de entrada que se maneje debe ser veraz y de buena calidad, puesto que cualquier dato que sea erróneo incide directamente sobre el resultado de la secuencia minera.
- El conseguir una secuencia de minado, es un proceso que no se obtiene con solo una simulación, se necesitan varias pruebas; en donde se debe modificar variables del programa y criterios técnicos.
- Lo recomendable es generar una secuencia con la opinión de varios especialistas, ya que como se dijo antes, esto es un proceso de varios intentos, en donde intervienen criterios técnicos; por lo cual la colaboración de varios especialistas genera varios puntos de vista y diferentes análisis, que un solo ingeniero o técnico tal vez no pueda ver.
- Seguir en práctica continua en el uso de los programas, ya que estos tienen una gran variedad de herramientas útiles para el campo minero y su correcto uso depende del tiempo que se emplee en el uso del software y el conocimiento que se tenga sobre el mismo.
- Enseñar o abrir cursos en la universidad sobre este tipo de programas, ya que son muy completos y su aplicabilidad en el campo laboral es muy grande, sería bueno que los futuros estudiantes de esta universidad salgan con un buen manejo de este tipo de programas.

BIBLIOGRAFÍA

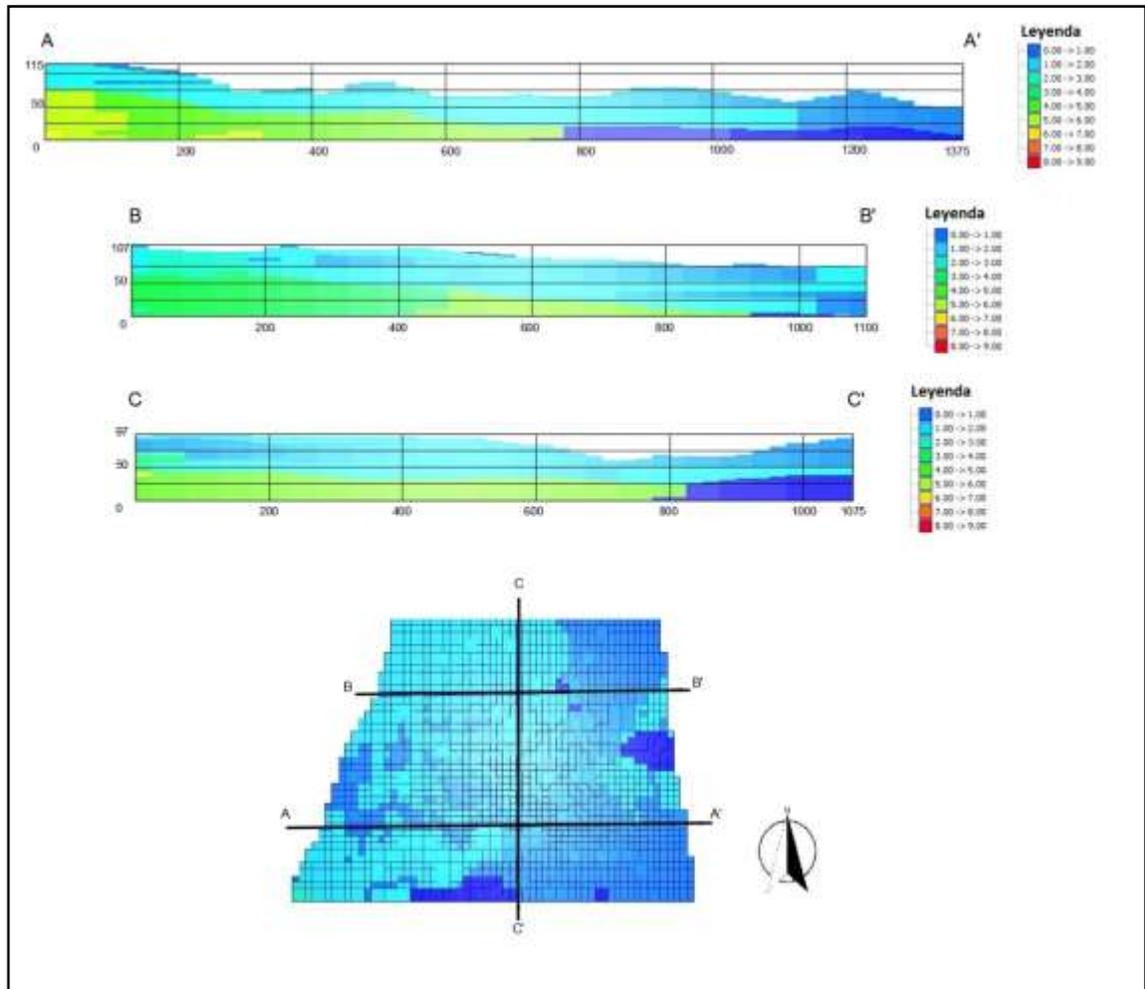
- Banco Central de la República Dominicana. (2016). *Informe índice de precios al consumidor (IPC) Abril 2016*.
- Banco Central del Ecuador. (s.f.). *Cartilla informativa. Sector minero*.
- Gemcom. (2009). *Planificación de producción con Minesched Superficie 6.0*. Gemcom.
- Gemcom. (s.f.). *Introduction*. Vancouver: Gemcom.
- Herrera Herbert, J. (2006). *Métodos de minería a cielo abierto*. Madrid.
- Ministerio de minas y energía. (2003). *Glosario técnico minero*. Bogotá D.C.
- Plá Ortiz de Urbina, F. (2002). *Curso de Laboreo I*. Madrid.
- Portal minero . (2006). *Manual general de minería y metalurgia* .
- Soluciones en Geología y Minería S.A.S. (2014). *Modelamiento geológico para el deposito de caliza Najayo, Cementos Argos, República Dominicana*. Medellín.
- Vásquez, A., Galdames, B., & Le-Feaux, R. (1998). *Apunte preliminar diseño y operaciones de minas a cielo abierto* . Chile.

ANEXOS

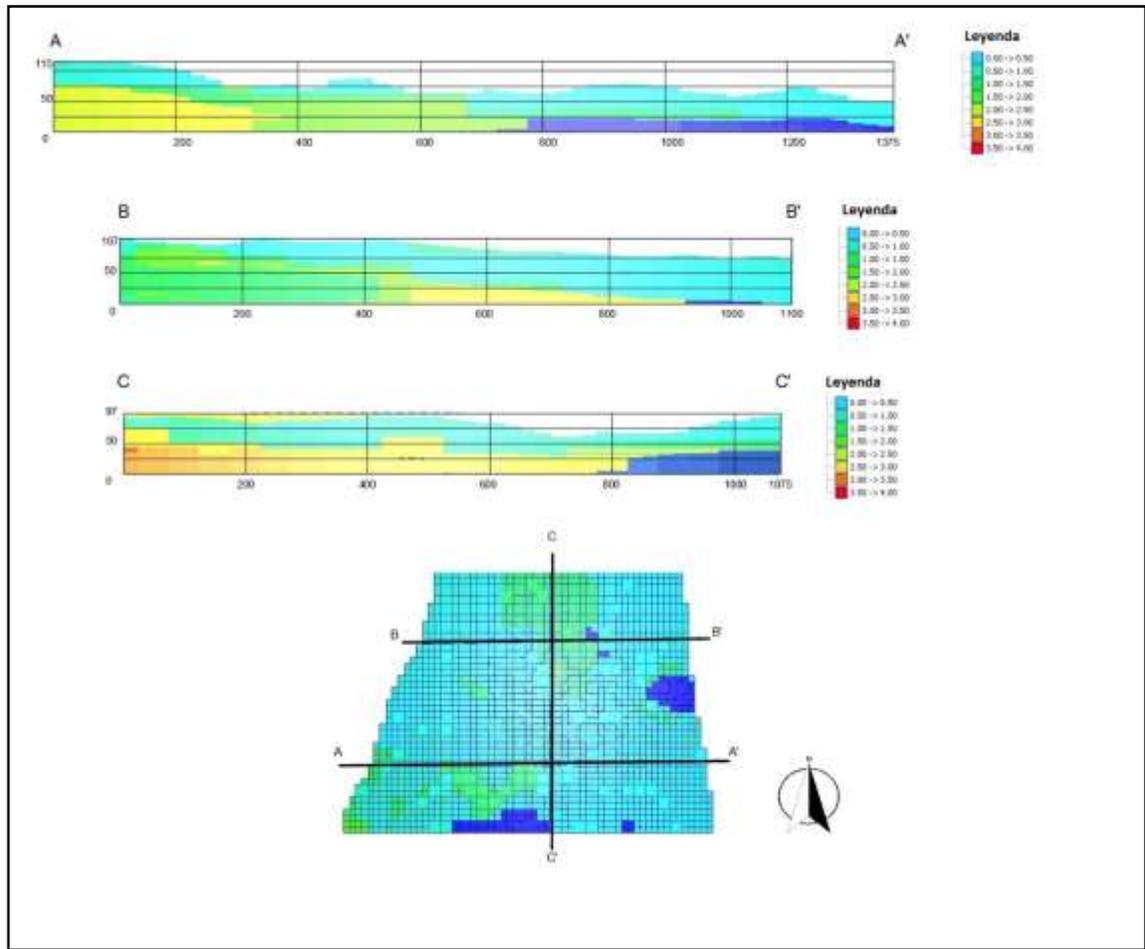
Anexo 1. Perfil y cortes en planta de CaCO₃.



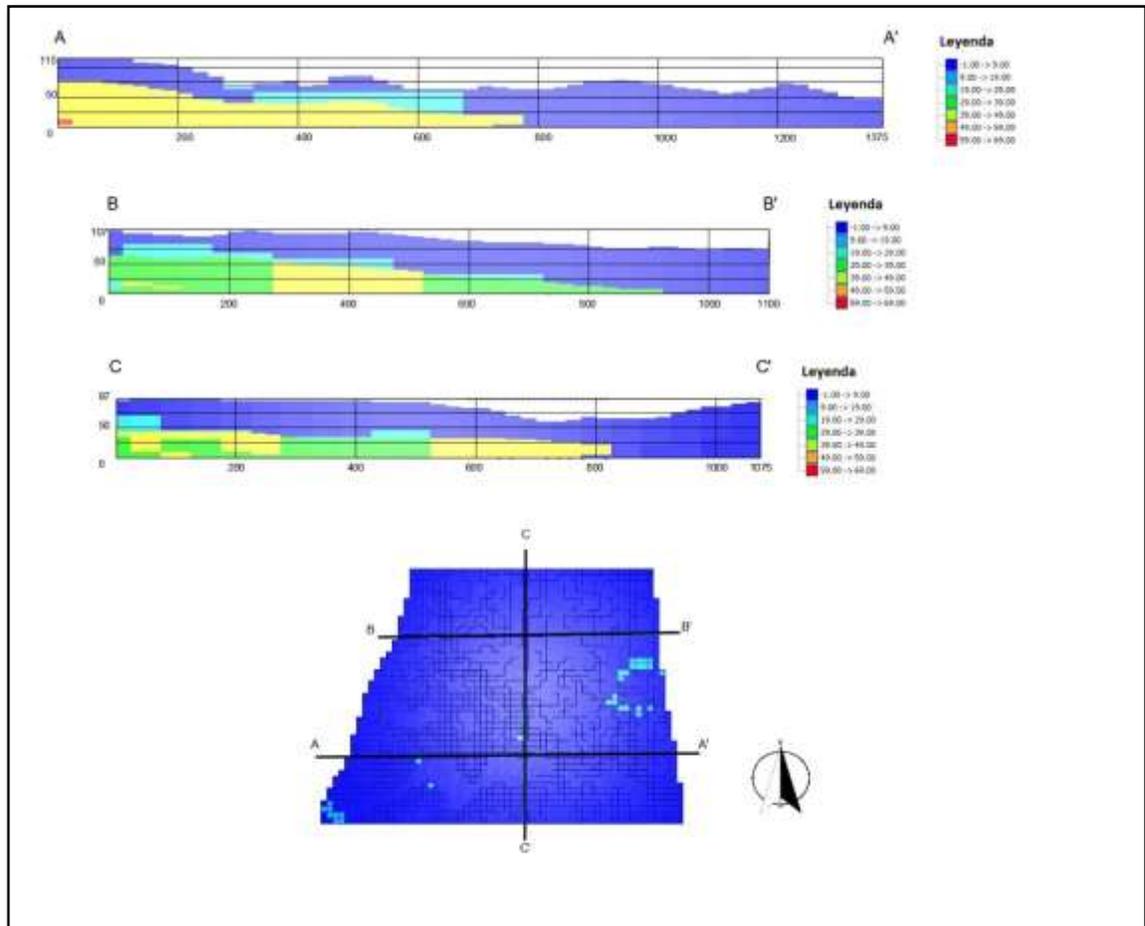
Anexo 2. Perfil y cortes en planta de Al₂O₃.



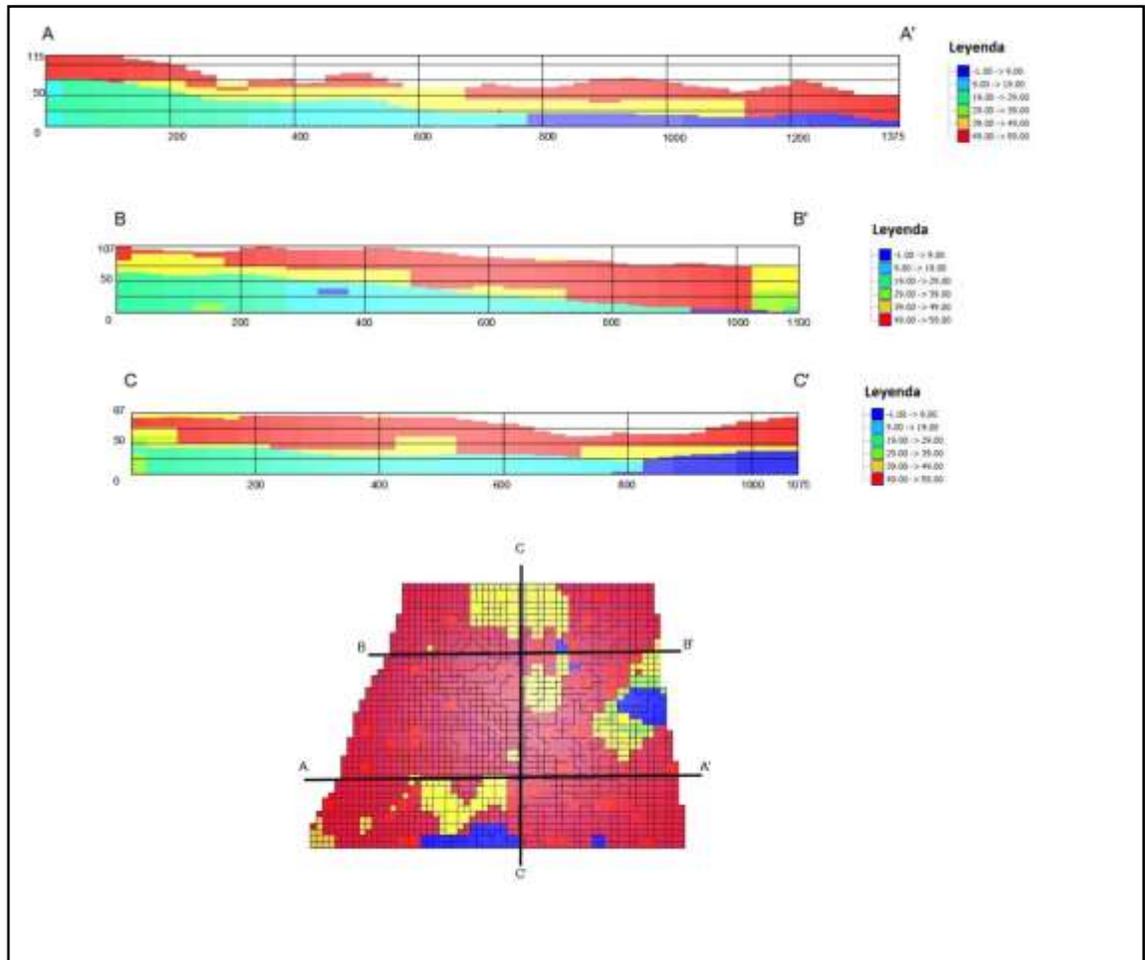
Anexo 3. Perfil y cortes en planta de Fe₂O₃.



Anexo 4. Perfil y cortes en planta SiO₂.



Anexo 5. Perfil y cortes en planta de CaO.



Anexo 6. Reporte de calidad cada 10 metros.

Litología	Altura	Volumen	Toneladas	Caco3	Al2o3	Fe2o3	Sio2	Cao
	m	m ³		%	%	%	%	%
Calizas	-10 - 0	1562.50	2812.50	83.12	1.85	1.15	7.16	46.57
	0 - 10	393750.00	708750.00	80.06	1.54	0.96	5.96	44.85
	10 - 20	1745312.50	3141562.50	80.91	1.20	0.75	4.60	45.33
	20 - 30	4278125.00	7700625.00	83.58	1.30	0.79	5.12	46.82
	30 - 40	6951562.50	12512812.50	85.04	1.43	0.89	5.83	47.64
	40 - 50	8939062.50	16090312.50	83.90	1.43	0.87	6.19	46.99
	50 - 60	9960937.50	17929687.50	84.95	1.35	0.83	5.77	47.58
	60 - 70	10190625.00	18343125.00	86.21	1.21	0.76	4.80	48.28
	70 - 80	9057812.50	16304062.50	87.22	1.19	0.75	4.53	48.85
	80 - 90	5826562.50	10487812.50	88.75	1.11	0.70	3.83	49.71
	90 - 100	2967187.50	5340937.50	90.42	1.09	0.70	3.57	50.65
	100 - 110	567187.50	1020937.50	92.66	1.01	0.63	3.21	51.91
	110 - 120	14062.50	25312.50	93.36	0.89	0.56	2.84	52.30
Sub Total		60893750.00	109608750.00	85.81	1.28	0.79	5.10	48.07
Caliche	80 - 90	450000.00	765000.00	85.16	2.01	1.19	5.34	47.70
	90 - 100	1062500.00	1806250.00	89.66	1.64	0.99	4.59	50.23
	100 - 110	1315625.00	2236562.50	90.53	1.45	0.88	4.23	50.72
	110 - 120	206250.00	350625.00	92.93	1.01	0.67	2.87	52.06
Sub Total		3034375.00	5158437.50	89.59	1.57	0.95	4.43	50.19
Total		63928125.00	114767187.50	85.98	1.29	0.80	5.07	48.16

Anexo 7. Reporte de calidades cada 10 metros, clasificado por el tipo de material.

Materiales	Z	Volumen	Toneladas	Caco3	Cao	Sio2	Al2o3	Fe2o3
	m	m ³		%	%	%	%	%
Material fuera de la geometría final	0.0 -> 10.0	13443750	-12691250	23.77	13.16	28.13	2.59	0.96
	10.0 -> 20.0	12800000	-10065625	18.35	10.13	34.05	3.11	1.16
	20.0 -> 30.0	11517188	-5212813	-10.15	-5.82	58.00	5.09	1.89
	30.0 -> 40.0	10431250	418750	861.63	483.15	-501.34	-34.95	-9.88
	40.0 -> 50.0	9754688	4945313	118.83	66.53	-24.11	-0.92	0.07
	50.0 -> 60.0	8876563	7354688	100.13	56.06	-7.97	0.27	0.47
	60.0 -> 70.0	7014063	8377188	91.41	51.18	-1.17	0.74	0.61

	70.0 -> 80.0	4671875	7836250	84.90	47.54	4.26	1.19	0.77
	80.0 -> 90.0	3279688	5902969	86.40	48.38	4.11	1.11	0.69
	90.0 -> 100.0	2025000	3630781	90.03	50.42	3.39	1.04	0.66
	100.0 -> 110.0	1017188	1784844	92.20	51.65	3.30	1.10	0.70
	110.0 -> 120.0	189063	322813	93.32	52.28	2.58	0.94	0.64
Sub Total		85020313	12603906	294.67	165.34	-104.97	-6.33	-1.18
Caliza para clinker	0.0 -> 10.0	121875	219375	84.43	47.30	6.62	1.71	1.07
	10.0 -> 20.0	662500	1192500	85.80	48.06	6.06	1.57	0.99
	20.0 -> 30.0	1493750	2688750	86.74	48.60	6.25	1.61	0.99
	30.0 -> 40.0	2353125	4235625	88.57	49.62	5.50	1.43	0.90
	40.0 ->	3153125	5675625	89.23	49.99	4.91	1.30	0.82

	50.0							
	50.0 -> 60.0	3415625	6148125	90.70	50.81	3.76	1.05	0.66
	60.0 -> 70.0	3253125	5855625	92.32	51.72	3.05	0.93	0.60
	70.0 -> 80.0	2650000	4770000	90.70	50.81	3.93	1.19	0.77
	80.0 -> 90.0	1832813	3296094	90.73	50.83	4.07	1.25	0.81
	90.0 -> 100.0	821875	1468594	91.05	51.01	4.07	1.25	0.80
	100.0 -> 110.0	23438	40781	90.92	50.94	4.47	1.34	0.83
	110.0 -> 120.0	1563	2656	91.64	51.34	3.85	1.16	0.73
Sub Total		19782813	35593750	90.00	50.42	4.38	1.22	0.78
Caliza para adición	0.0 -> 10.0	3125	5625	67.09	37.59	3.90	1.00	0.62
	10.0 -> 20.0	106250	191250	61.05	34.20	3.02	0.76	0.47

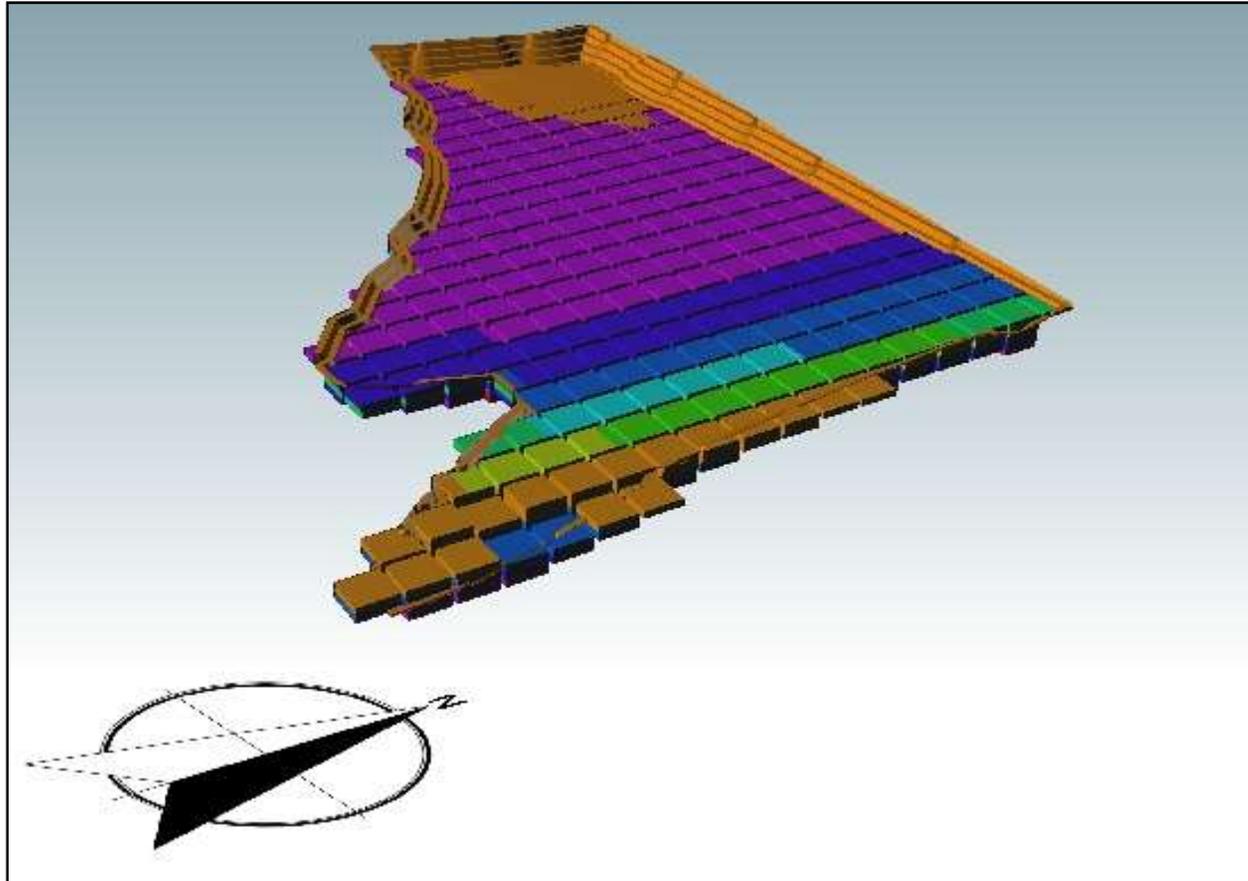
	20.0 -> 30.0	535938	955938	66.62	37.32	4.12	0.98	0.64
	30.0 -> 40.0	718750	1293750	73.64	41.26	4.97	1.15	0.75
	40.0 -> 50.0	398438	717188	73.64	41.25	10.38	1.68	0.96
	50.0 -> 60.0	589063	1060313	73.25	41.03	14.24	2.53	1.50
	60.0 -> 70.0	773438	1282813	78.20	43.82	10.17	2.36	1.48
	70.0 -> 80.0	204688	368438	79.52	44.55	11.69	2.75	1.81
Sub Total		3329688	5875313	73.38	41.11	8.66	1.79	1.11
Agregados	30.0 -> 40.0	4688	8438	92.29	51.71	2.94	1.01	0.61
	40.0 -> 50.0	137500	247500	95.28	53.38	2.46	0.74	0.44
	50.0 -> 60.0	159375	286875	93.39	52.32	2.90	0.95	0.58
	60.0 ->	748438	1229063	93.16	52.21	3.14	0.88	0.55

	70.0							
	70.0 -> 80.0	1859375	3001250	95.75	53.66	2.46	0.79	0.49
	80.0 -> 90.0	1164063	2053750	90.98	50.97	3.20	1.25	0.75
	90.0 -> 100.0	1182813	2047813	90.02	50.43	4.43	1.55	0.95
	100.0 -> 110.0	842188	1431875	89.96	50.40	4.64	1.56	0.94
	110.0 -> 120.0	29688	50469	90.71	50.82	4.65	1.41	0.83
Sub Total		6128125	10357031	92.46	51.80	3.40	1.15	0.70
Grand Total		114260938	64430000	128.92	72.27	-16.78	-0.21	0.41

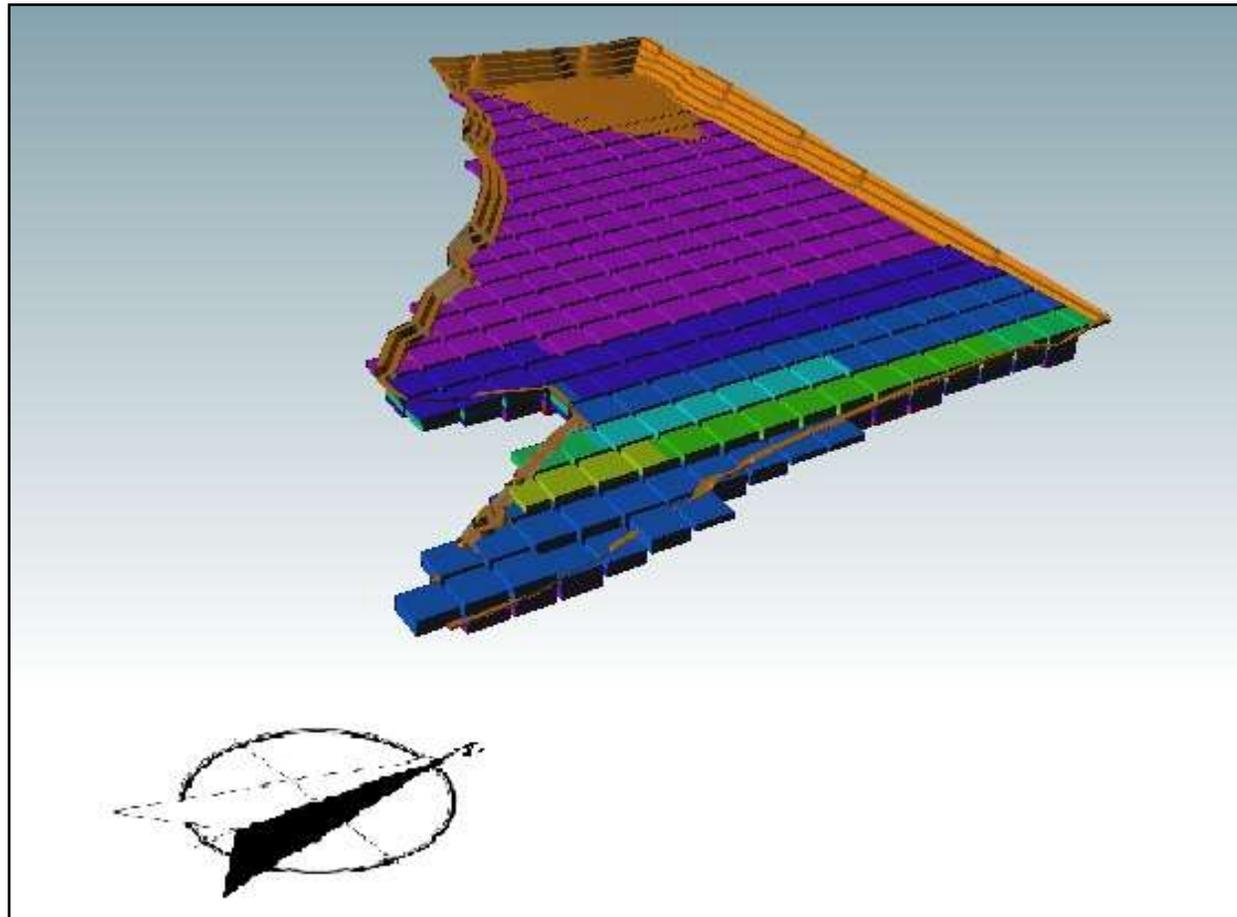
Anexo 8. Reporte de calidades, clasificado por materiales.

Materiales	Volumen	Toneladas	Cao	Caco3	Al2o3	Sio2	Fe2o3
	m ³		%	%	%	%	%
Material para clinker	19782813	35593750	50.42	90.00	1.22	4.38	0.78
Material para adición	3329688	5875313	41.11	73.38	1.79	8.66	1.11
Agregados	6128125	10357031	51.80	92.46	1.15	3.40	0.70
Grand Total	29240625	51826094	49.64	88.60	1.27	4.67	0.80

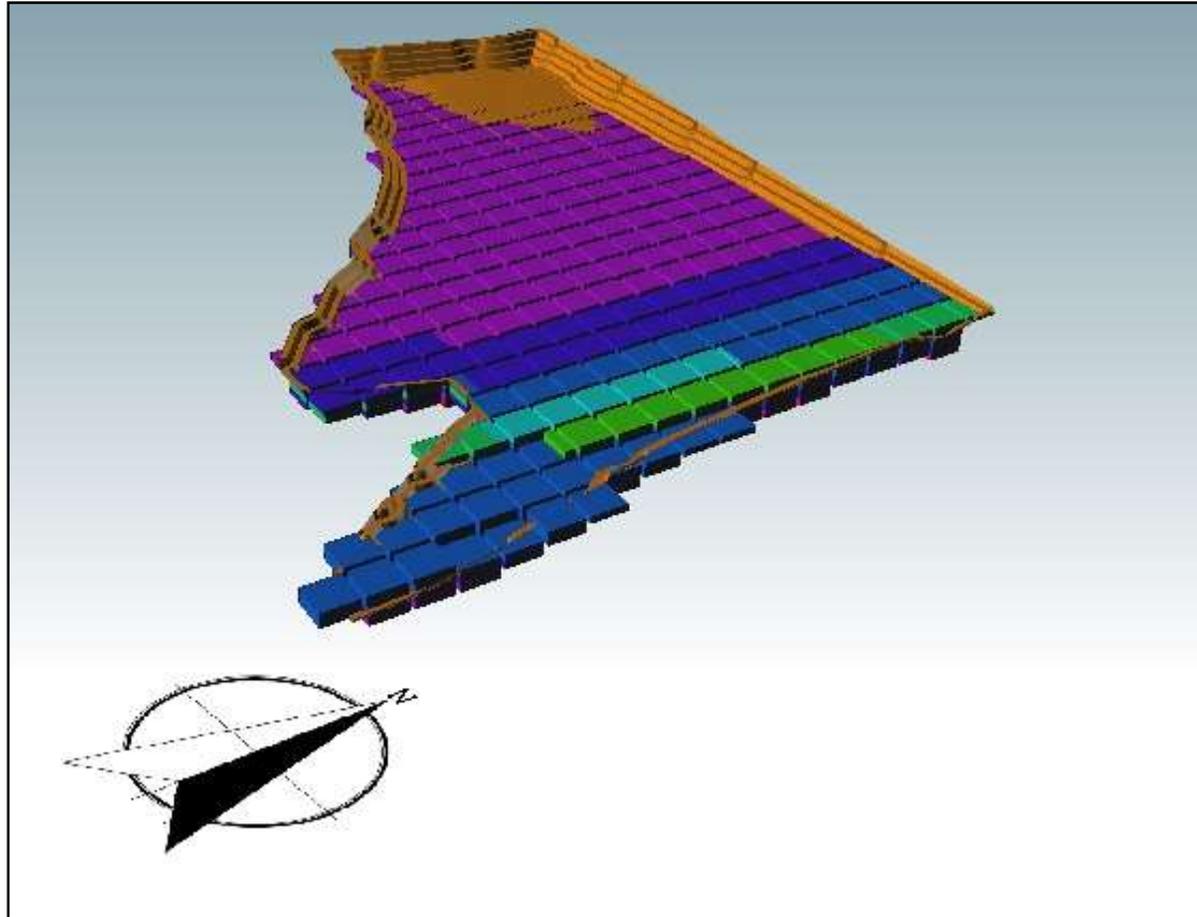
Anexo 9. Inicio del primer período en la secuencia minera.



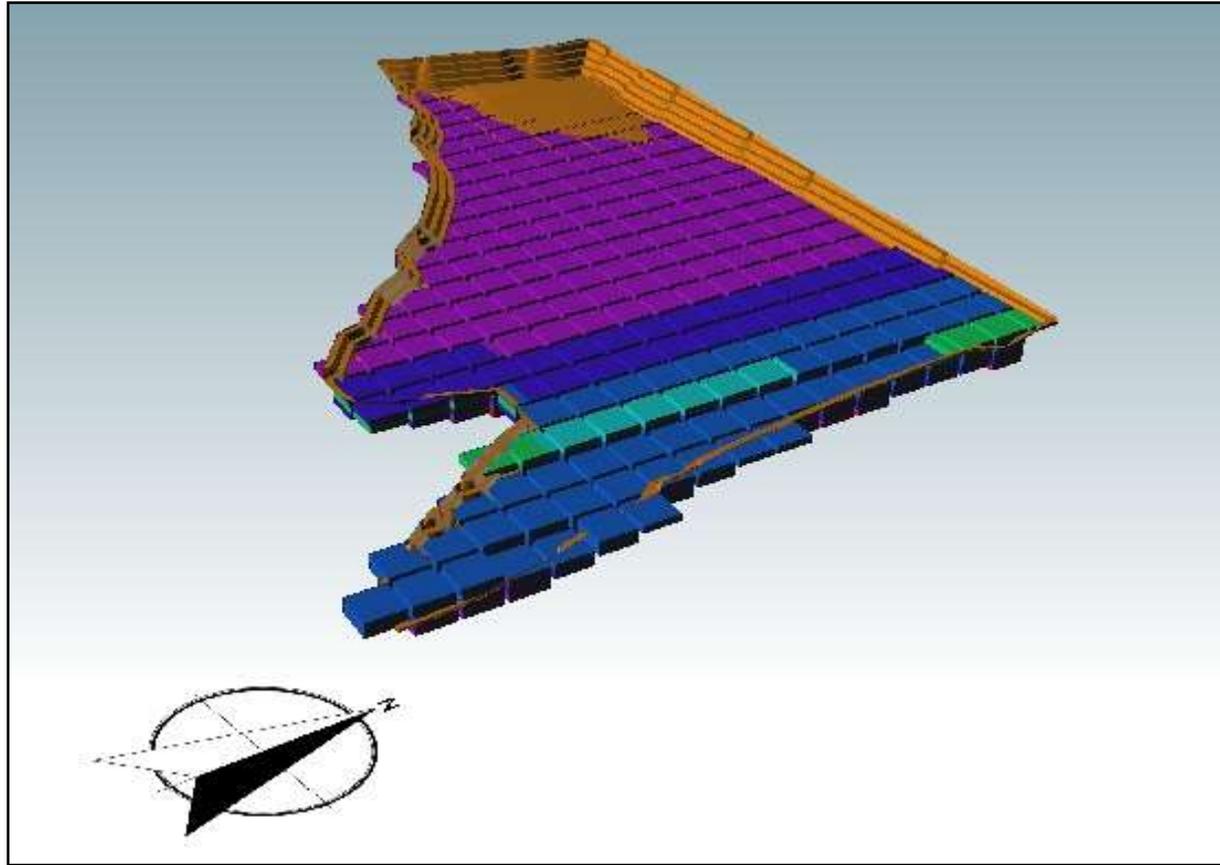
Anexo 10. Inicio del segundo período en la secuencia minera.



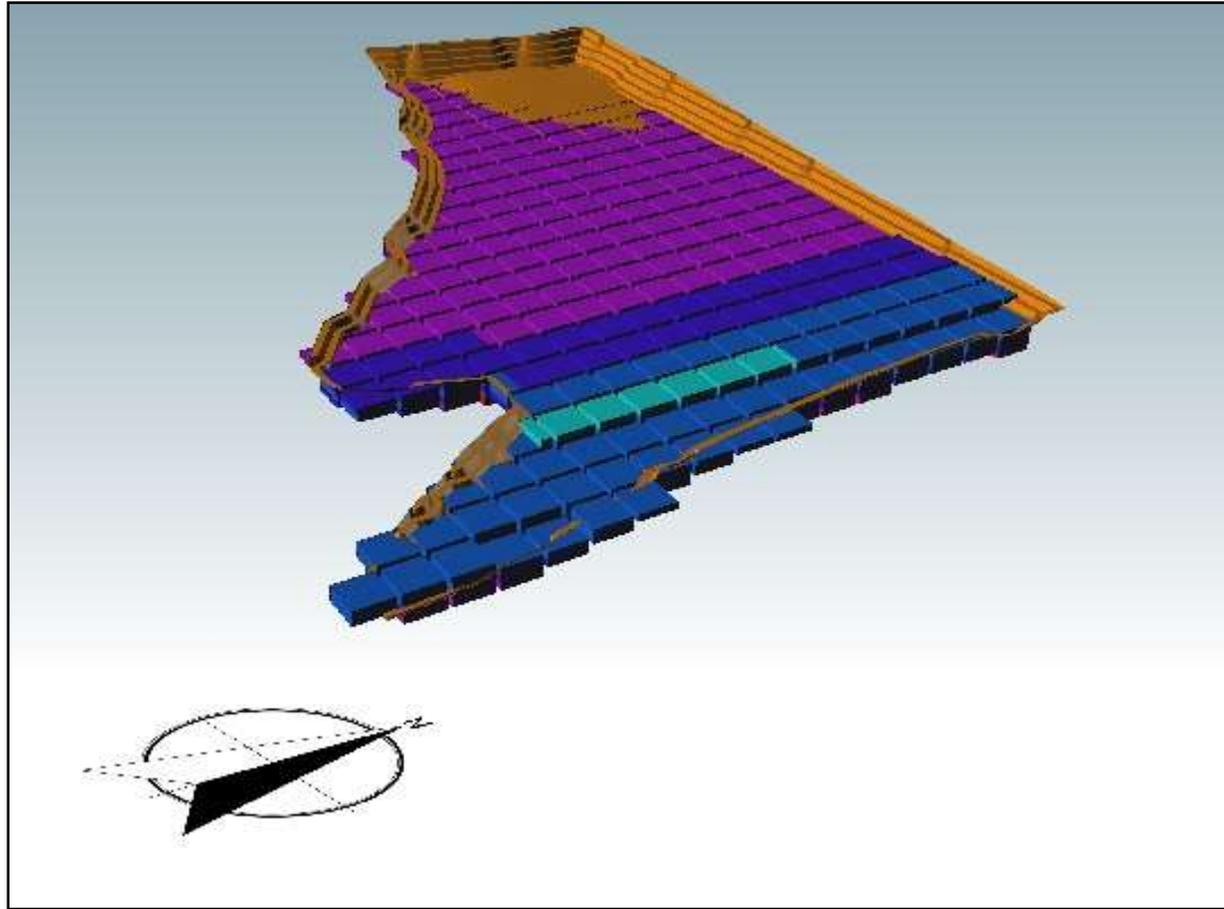
Anexo 11. Inicio del tercer período en la secuencia minera.



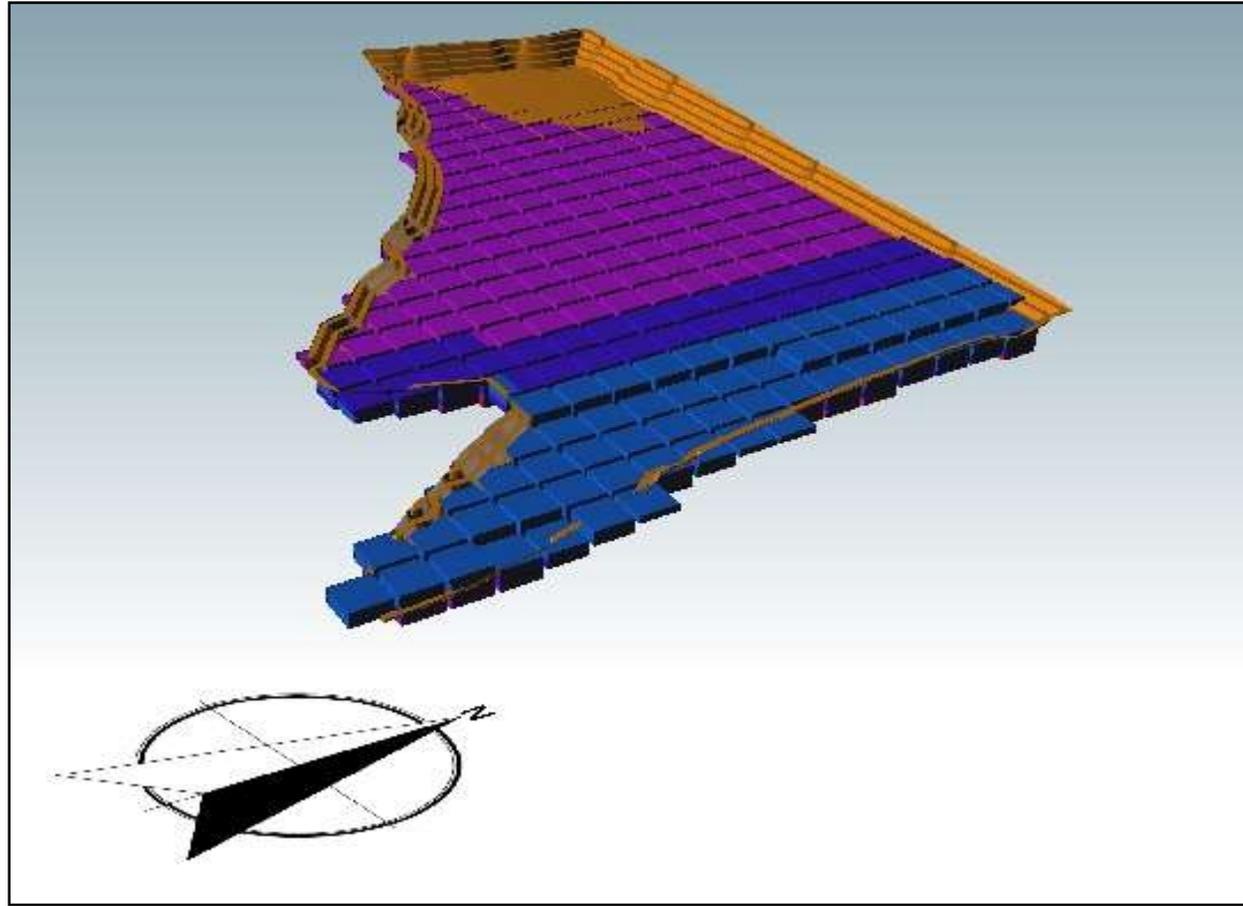
Anexo 12. Inicio del cuarto período de la secuencia minera.



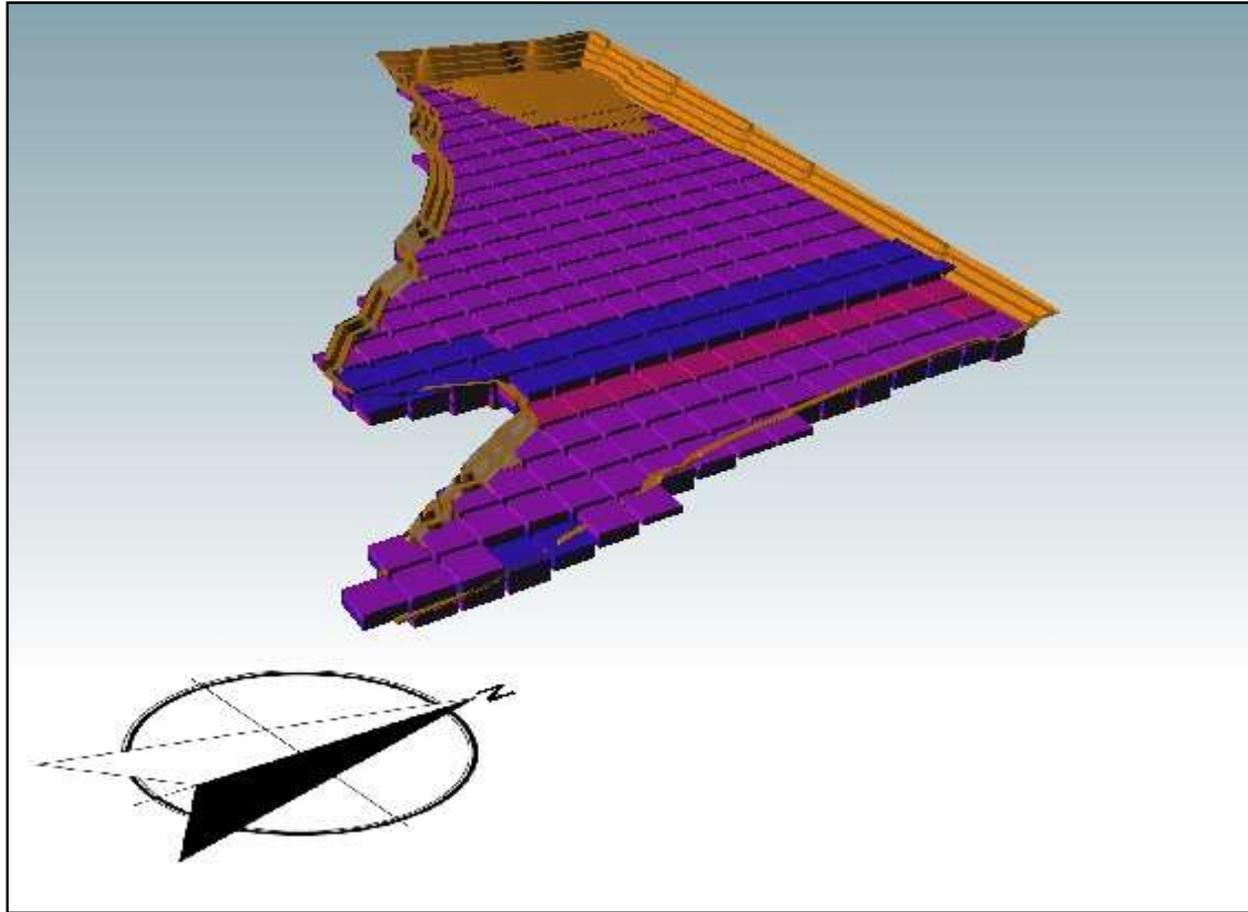
Anexo 13. Inicio del quinto período de la secuencia minera.



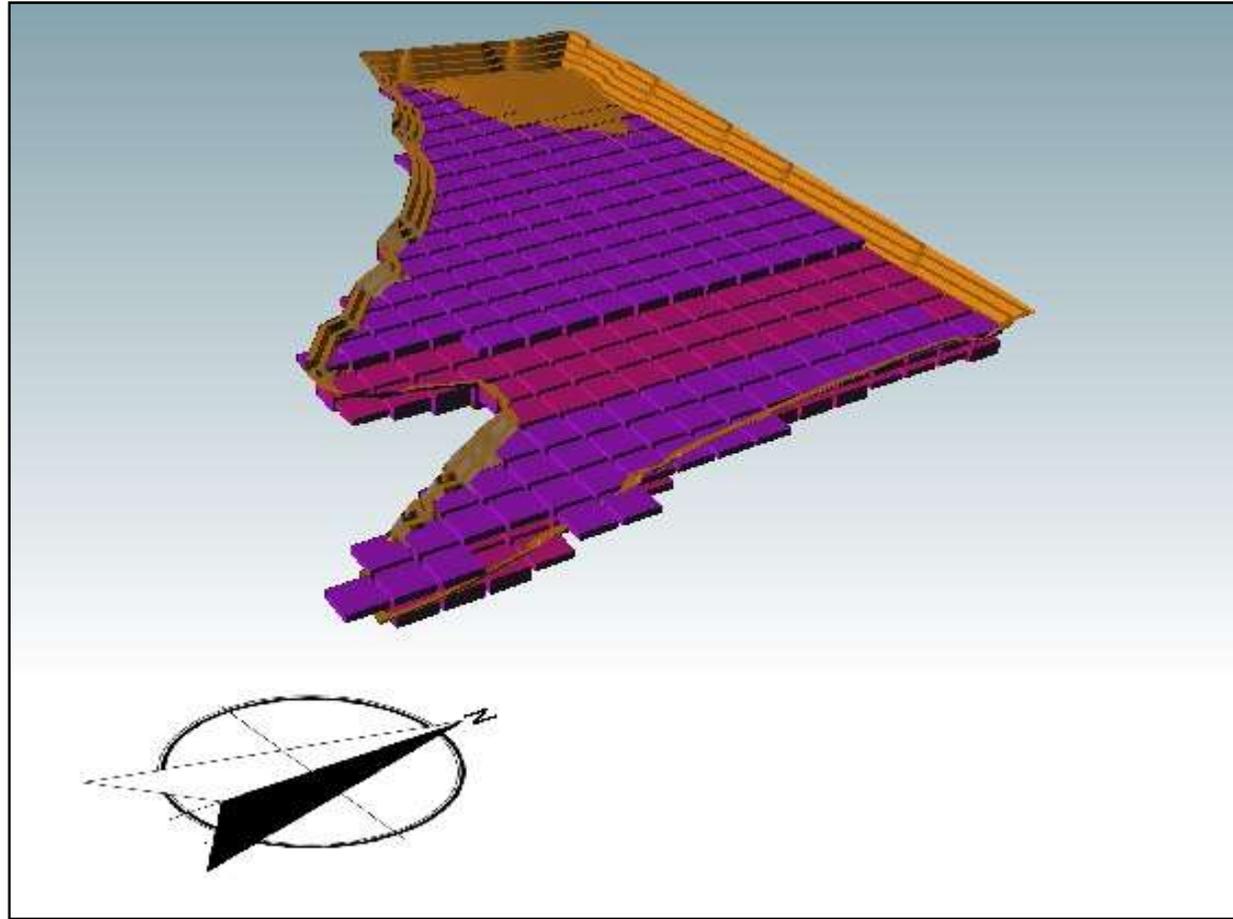
Anexo 14. Inicio del sexto período de la secuencia minera.



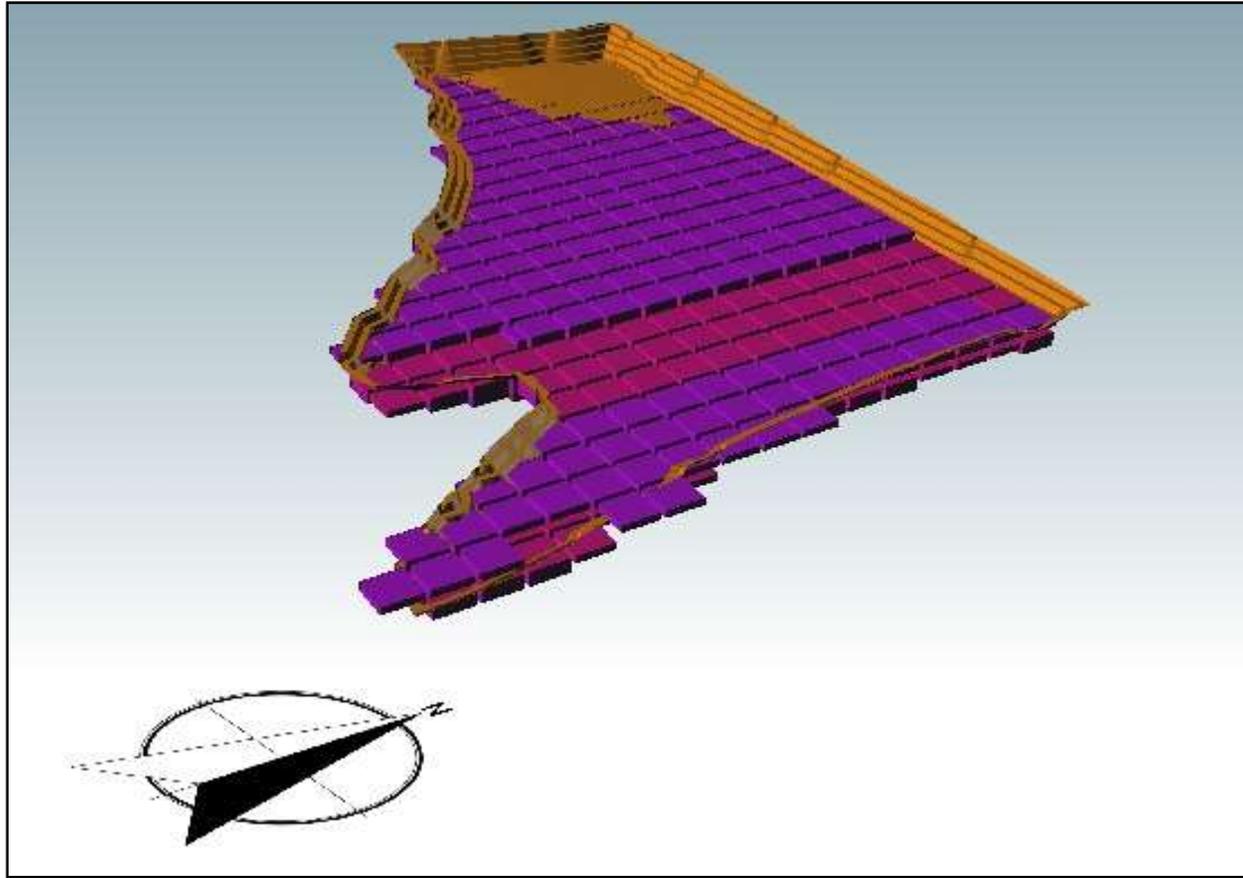
Anexo 15. Inicio del séptimo período de la secuencia minera.



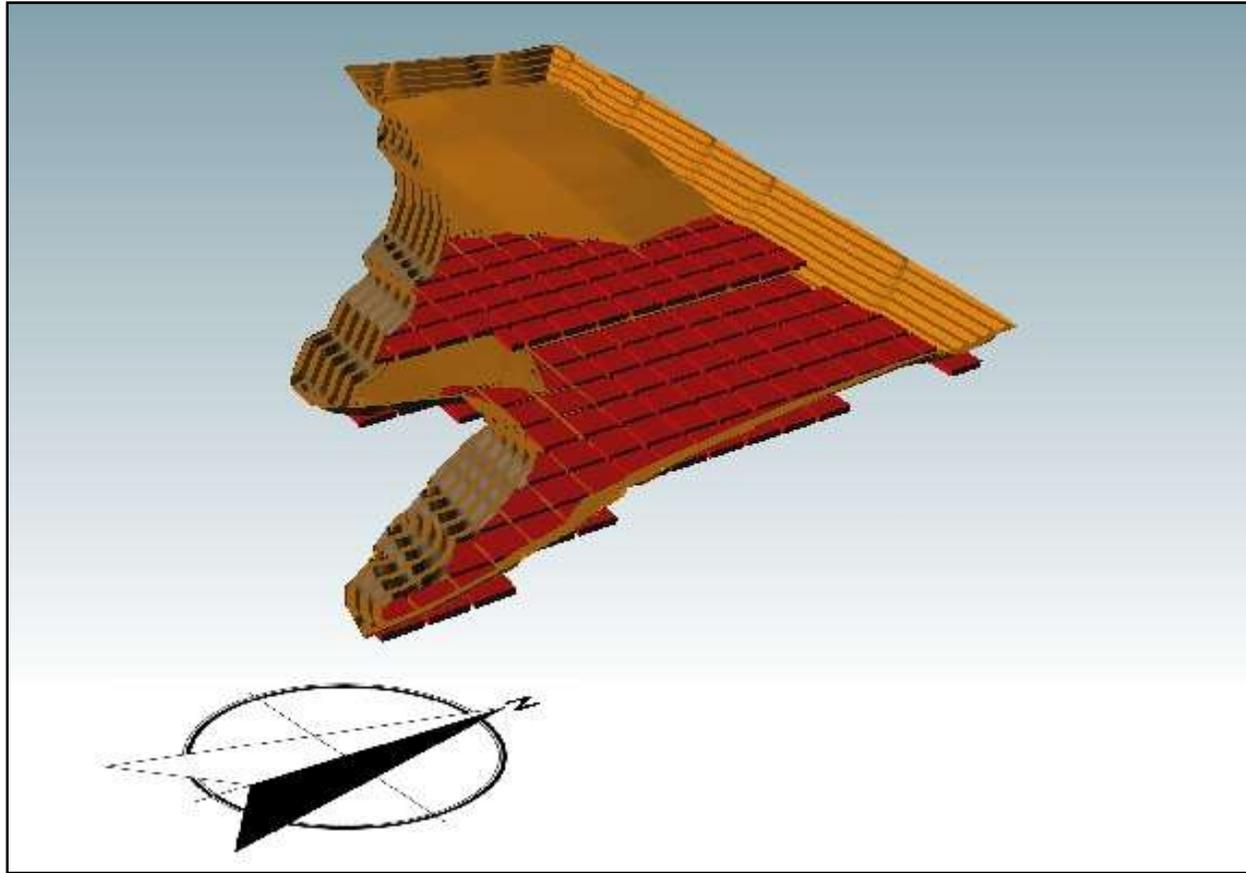
Anexo 16. Inicio del octavo período de secuencia minera.



Anexo 17. Inicio del noveno período de la secuencia minera.



Anexo 18. Inicio del décimo período de la secuencia minera.



Anexo 19. Finalización de la secuencia minera.

