



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS

“Evaluación y propuesta de optimización del proceso de extracción de caolín y feldespató en el Área Minera María”

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN MINAS

Nombre del Autor:

ALEJANDRA ESTEFANIA MENDOZA CARRION

Nombre del Director:

CARLOS FEDERICO AUQUILLA TERÁN

CUENCA, ECUADOR

2018

DEDICATORIA

Llena de esperanza e ilusión dedico este proyecto a mis padres Norma y Marcelo que con gran esfuerzo y sacrificio han sido mi respaldo y apoyo, durante este proceso, brindándome e inculcándome grandes y valiosas enseñanzas.

A mis hermanos Gabriel y Damián que son mi mayor alegría, los cuales me han brindado mucho amor, lo cual me aliento día a día.

A mi abuela Alejandrina que siempre ha sido mi mayor ejemplo de trabajo, sacrificio, humildad y honestidad, por sus innumerables e invaluable consejos que ha hecho el querer ir mejorando a cada paso y en todo momento.

INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
INDICE DE CONTENIDOS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
INDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE ANEXOS	xi
CAPÍTULO I: MARCO REFERENCIAL	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Nombre del área y código:	4
1.3. Ubicación del área de estudio.....	4
1.4. Área concesionada	6
1.5. Vías de acceso y comunicación.....	9
1.6. Geología del área de estudio	10
1.7. Situación actual de las operaciones desarrolladas en el área de estudio	13
1.8. Identificación de las actividades minero –operativas en el Área Minera María	17
1.8.1. Labores de exploración	17
1.8.2. Labores de destape	17
1.8.3. Labores de explotación	19
1.8.4. Labores de carguío y transporte de caolín y feldespató.....	20
1.8.5. Acondicionamiento de escombrera.....	20

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	22
2.1. Minería a cielo abierto.....	22
2.1.1. Métodos de explotación en minera cielo abierto.....	23
2.1.2. Etapas de explotación en minería a cielo abierto.....	23
2.1.3. Avance de explotación de minería cielo abierto.....	24
2.1.4. Minería de cerámicos.....	26
2.1.5. Definición y características del caolín.....	26
2.1.6. Definición y características del feldespato.....	27
CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO.....	29
3.1. Tipo de estudio.....	29
3.2. Técnicas de investigación.....	29
3.3. Costos Minero – Operativos.....	29
3.4. Identificación de variables de los procesos mineros.....	30
3.5. Determinación de relaciones entre variables de los procesos.....	30
3.6. Interpretación de Resultados.....	31
CAPÍTULO IV: OPTIMIZACIÓN.....	34
4.1. Planteamiento de la propuesta.....	34
4.2. Diseño del proyecto.....	34
4.2.1. Diseño del proyecto para una producción alta.....	34
4.2.2. Diseño del proyecto para una producción baja.....	53
4.2.3. Análisis de las relaciones de las variables y cambios propuestos para la optimización.....	62

4.2.4. Modelo de optimización propuesto para los procesos de extracción de caolín y
feldespato.....64

**CAPÍTULO V: IMPACTO DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE LOS
PROCESOS DE EXTRACCIÓN DE CAOLÍN Y FELDESPATO 70**

5.1. Análisis de resultados.....70

5.2. Análisis de resultados e impacto del proyecto desde el punto de vista técnico.71

5.2.1. Impacto económico.....71

5.2.2. Impactos positivos y negativos del proyecto72

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....73

BIBLIOGRAFIA.....75

ANEXOS.....77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1:Ubicación y acceso del Área Minera “María”.....	4
Figura 1.2:Ubicación y área concesionada	6
Figura 1.3:Topografía del área minera.....	8
Figura 1.4:Ubicación y acceso del Área Minera María, parroquia Guadalupe	9
Figura 1.5: Suelo vegetal	11
Figura 1.6: Caolín de color rojo.....	11
Figura 1.7: Caolín blanco.....	12
Figura 1.8: Feldespato ya fragmentado.....	12
Figura 1.9:Vista frontal de los bancos	14
Figura 1.10:Vista lateral de los bancos	14
Figura 1.11:Tractor D6	15
Figura 1.12:Excavadora 320 BL.....	15
Figura 1.13:Parámetros de diseño de la cantera.....	16
Figura 1.14:Pozos de exploración.....	17
Figura 1.15:Sobrecarga en el frente de explotación.....	18
Figura 1.16: Banco destapado.....	19
Figura 1.17:Carga de material de destape.....	20
Figura 1.18:Escombreras y su acondicionamiento	21
Figura 4.1:Función objetivo para el arranque cuando se tiene una producción alta.....	38
Figura 4.2:Función objetivo para el acarreo utilizando una excavadora, cuando se tiene una producción alta	40
Figura 4.3:Función objetivo para acarreo utilizando dos equipos, cuando se tiene una producción alta	43

Figura 4.4:Función objetivo para carga utilizando una excavadora, cuando se tiene producción alta	46
Figura 4.5:Función objetivo para el transporte, cuando se tiene una producción alta.....	49
Figura 4.6:Función objetivo para el arranque utilizando una excavadora, con producción baja	56
Figura 4.7: Función objetivo para el arranque con dos equipos, para producción baja.....	57
Figura 5.1:Comparacion de horas de trabajo con alta producción.....	70
Figura 5.2:Comparativo de horas de trabajo con baja producción	71

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1:Coordenadas del Área Minera María.....	5
Tabla 1.2 Coordenadas de los manifiestos de producción.....	7
Tabla 1.3:Clasificación de los sistemas de explotación según el profesor e.f. sheshko	13
Tabla 1.4:Parámetros de diseño de la cantera.....	16
Tabla 2.1:Ángulos de taludes estables de los bancos en trabajo.....	25
Tabla 2.2:Principales propiedades físicas del caolín	27
Tabla 3.1:Resultados de rendimiento de maquinaria.....	32
Tabla 3.2:Posible mejora	33
Tabla 4.1:Costos de producción, resumen con alta producción.....	36
Tabla 4.2: Método Simplex aplicado en arranque cuando se tiene producción alta.....	37
Tabla 4.3:Resolución función objetivo para arranque utilizando un equipo, cuando se tiene una producción alta.....	38
Tabla 4.4: Método Simplex aplicado en acarreo utilizando una excavara, con producción alta.	39
Tabla 4.5:Resolución función objetivo para acarreo, cuando se tiene una producción alta	41
Tabla 4.6:Método Simplex aplicado en acarreo utilizando dos excavadoras con producción alta	42
Tabla 4.7: Resolución función objetivo para acarreo utilizando dos excavadoras, con producción alta	43
Tabla 4.8:Método Simplex aplicado en la carga cuando se tiene producción alta	45
Tabla 4.9:Resolución función objetivo para carga utilizando una excavadora, cuando se tiene producción alta	46

Tabla 4.10:Resolución función objetivo para carga utilizando dos equipos, cuando se tiene una producción alta.....	47
Tabla 4.11:Método Simplex aplicado para transporte con producción alta.....	48
Tabla 4.12:Resolución función objetivo para el transporte, con producción alta.....	49
Tabla 4.13:Variantes del proceso de extracción de caolín y feldespatos para una alta producción	52
Tabla 4.14:Costos de producción, resumen con baja producción.....	54
Tabla 4.15:Método Simplex aplicado en arranque cuando se tiene producción baja con un equipo.	55
Tabla 4.16:Método Simplex aplicado en arranque cuando se tiene producción baja con dos equipos.....	55
Tabla 4.17: Resolución de función objetivo para el arranque, con producción baja.....	56
Tabla 4.18:Resolución función objetivo para el arranque con dos equipos, para producción baja.....	58
Tabla 4.19: Método Simplex aplicado para el acarreo utilizando una excavadora, con producción baja.....	59
Tabla 4.20: Método Simplex aplicado para el acarreo utilizando dos excavadoras, con producción baja.....	59
Tabla 4.21: Método Simplex aplicado para la carga con un solo equipo, con producción baja.	60
Tabla 4.22:Método Simplex aplicado para la carga con dos equipos, con producción baja. ..	60
Tabla 4.23: Método Simplex aplicado para el transporte, con producción baja.....	61
Tabla 4.24:Variantes del proceso de extracción de caolín y feldespatos para una baja producción	62
Tabla 4.25:Resumen de alternativa más óptima para producción alta.....	63

Tabla 4.26:Resumen de alternativa más óptima para producción baja.....	64
Tabla 4.27:Resumen de flota de equipos	65
Tabla 4.28:Tiempos y costos de producción óptimos, para producción alta	67
Tabla 4.29:Tiempos y costos de producción óptimos, para producción alta	68
Tabla 4.30:Comparación de resultados	69

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Gastos anuales	77
Anexo 2: Costos de producción (alquiler de maquinaria)	78
Anexo 3: Producción mensual 2017	79
Anexo 4: Cálculo rendimiento excavadora M320	80
Anexo 5: Especificaciones del cucharón excavadora Cat M320.....	81
Anexo 6: Factor de llenado del cucharón de la excavadora	82
Anexo 7: Factor de eficiencia de la excavadora	83
Anexo 8: Factor de conversión del suelo o roca.....	83
Anexo 9: Ciclos de trabajo de excavadora	84
Anexo 10: Tabla de cálculo de producción	86
Anexo 11: Cálculo de rendimiento tractor D6	87
Anexo 12: Especificaciones de la hoja de trabajo del tractor D6R GPL.....	88
Anexo 13: Factor de conversión del suelo o roca.....	89
Anexo 14: Ciclos de trabajo de tractor D6R GPL.....	90
Anexo 15: Rendimiento teórico.....	91
Anexo 16: Corrección de producción teórica según condiciones de trabajo.....	92
Anexo 17: Cálculo de producción volquetes jac camión volquete.....	93
Anexo 18: Factor de carga.....	94
Anexo 19: Tiempo fijo y distancia recorrida por el volquete.....	95
Anexo 20: Cálculo del rendimiento de volquetes.....	96
Anexo 21: Cálculo de rendimiento teórico.....	97

**“EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE
EXTRACCIÓN DE CAOLÍN Y FELDESPATO EN EL ÁREA MINERA MARÍA”**

RESUMEN

El presente proyecto tiene como fin principal realizar una evaluación y propuesta de optimización de los procesos de extracción en el Área Minera “María” analizando variables que condicionan y definen el desarrollo de estas actividades.

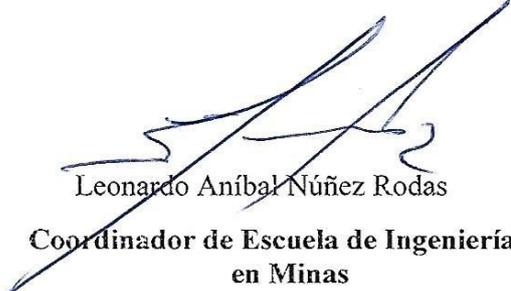
Para el desarrollo del presente trabajo se realizaron estudios técnicos económicos de la extracción de caolín y feldespato los cuales comprenden , estudio de la geología, método de explotación, maquinaria utilizada y un análisis de costos, los cuales sirvieron para hallar una solución óptima en la que se plantean funciones objetivo mismas que relacionan el volumen de producción requerido, y el rendimiento de maquinaria, permitiendo presentar una comparación de los costos que implican cada una de las actividades con las diferentes variantes que se puedan utilizar, facilitando así escoger la alternativa que implique menor costo al menor tiempo posible.

Palabra clave: Evaluación, optimización, extracción, caolín, feldespato, método simplex.



Carlos Federico Auquilla Terán.

Director del Trabajo de Titulación



Leonardo Aníbal Núñez Rodas

**Coordinador de Escuela de Ingeniería
en Minas**



Alejandra Estefanía Mendoza Carrion

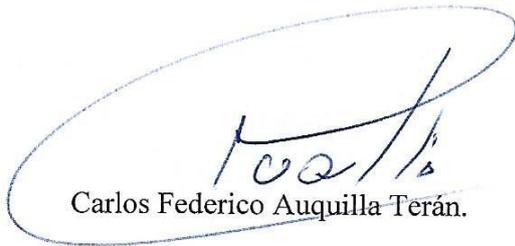
Autora

**“EVALUATION AND OPTIMIZATION PROPOSAL OF THE EXTRACTION
PROCESSES OF KAOLIN AND FELDSPAR IN THE MARÍA MINING AREA”**

ABSTRACT

The main objectives of this project were to perform an evaluation and a proposal for the optimization of extraction processes in the "María" Mining Area through the analysis of variables that conditioned and defined the development of these activities. Technical and economic studies of the extraction of kaolin and feldspar were carried out for the development of this work. The studies included: study of geology, exploitation method, machinery used, and a cost analysis. These served to find an optimal solution where objective functions that related the volume of production required and the performance of machinery were proposed. A comparison of the costs involved in each of the activities with the different variants to be used was presented, making it easier to choose the alternative that implied the lowest cost as soon as possible.

Keywords: Evaluation, optimization, extraction, kaolin, feldspar, simplex method.



Carlos Federico Auquilla Terán.

Thesis Director



Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Mining Engineering Faculty Coordinator



Alejandra Estefanía Mendoza Carrion

Author

Mendoza Carrión Alejandra Estefanía

Trabajo de Titulación

Ing. Carlos Federico Auquilla Terán

Julio, 2018.

**“EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE
EXTRACCIÓN DE CAOLÍN Y FELDESPATO EN EL ÁREA MINERA MARÍA”**

INTRODUCCIÓN

Siendo la minería la base fundamental para la mayor parte de industrias, ya que esta no solo se orienta a la extracción de minerales metálicos, sino también a la extracción de minerales no metálicos (rocas industriales, ornamentales y materiales de construcción), convirtiéndose en una de las actividades con importantes repercusiones económica, ambientales, sociales y laborales a nivel de la empresa.

La elaboración del presente trabajo tiene como finalidad realizar la evaluación y propuesta de optimización del proceso de extracción de caolín y feldespatos en el Área Minera “María” perteneciente a la compañía de explotación de materiales no metálicos “FUENLABRADA CIA. LTDA.”, que a su vez forma parte del grupo industrial GRAIMAN radicada en la ciudad de Cuenca.

Lo que se quiere obtener al realizar dicha evaluación, es conocer de forma clara y concreta los procesos minero- operativos que se desarrollan dentro del área minera, obteniendo el costo unitario que conlleva realizar las actividades de arranque, acarreo, carga y transporte, y así de

esta forma poder identificar con facilidad en que proceso se debe enfocar el estudio para una optimización técnica, generando una mejora para la empresa.

Por este motivo es esencial conocer la situación actual del área minera, ya que una vez que se cuente con los resultados se puede empezar a realizar una propuesta de optimización, evaluando cada uno de los factores que intervienen, ya que a partir de esto se puede proyectar como satisfacer y solucionar los problemas y necesidades que presenta la empresa en esta área.

CAPÍTULO I

MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

La Compañía de Explotación de Materiales no metálicos “FUENLABRADA CIA LTDA” es una empresa ecuatoriana que se encuentra realizando varios trabajos en el sector sur del Ecuador. Esta compañía posee varias concesiones, de las cuales, y a su vez forma parte del grupo industrial “GRAIMAN” radicado en la ciudad de Cuenca, la mayoría de sus concesiones se encuentran en fase de explotación, mientras que otras se encuentran en fase de exploración, sin actividades y en fase de licenciamiento ambiental.

Una de sus concesiones más importantes está en la Provincia de Zamora Chinchipe misma que está en fase de explotación y es una de las principales fuentes de materia prima para la producción de cerámica y porcelanato para la empresa, siendo esta conocida como Área Minera “María”, la cual comprende un área con grandes concentraciones de materiales no metálicos como es el caolín y feldespato con una sobrecarga de arcilla y material orgánico.

Dentro de las actividades que se desarrollan en el área, están la exploración, destape, y explotación, las cuales son fundamentales para cumplir con la producción requerida anualmente. La empresa actualmente cuenta con dos excavadoras y un tractor que realizan las tareas de destape y extracción de material, así como también de un grupo de trabajadores que constantemente exploran las áreas aledañas a la mina tratando de encontrar más reservas de material de interés.

1.2.Nombre del Área y Código:

Nombre del Área: MARÍA	
Código:	500712
Superficie (ha):	222
Superficie declarada en Producción:	5,99 ha
Producto:	No metálicos
Localización administrativa:	Subsecretaria de Minas Nro. 7

1.3.Ubicación del área de estudio

Geopolíticamente el Área Minera “María” de la empresa Fuenlabrada Cía. Ltda. se encuentra localizada en el sector sur oriental del Ecuador, en el sector Piuntza, Parroquia Nuestra Señora De Guadalupe, Cantón Zamora, Provincia de Zamora Chinchipe. (Figura 1.1)

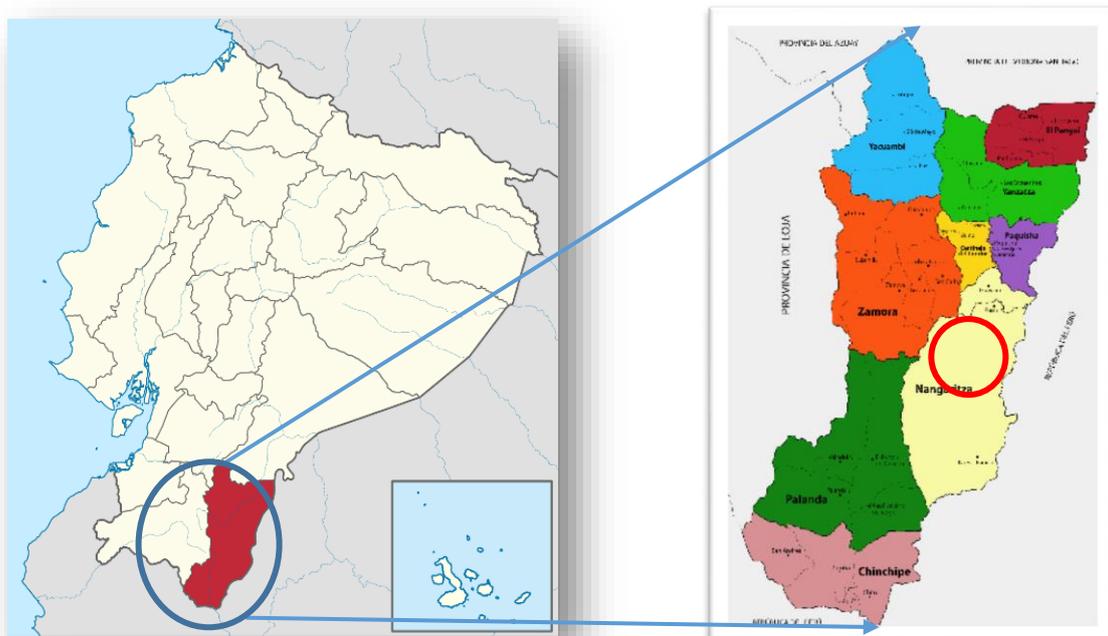


Figura 1.1:Ubicación y Acceso del Área Minera “María”

Fuente: Datos Instituto Geográfico Militar

Las coordenadas UTM, Datum Psad 56 y WGS 84 se presentan a continuación:

Tabla 1.1:Coordenadas del Área Minera María

Punto	PSAD 56		WGS 84	
	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud
P.P.	737500	9571000	737250	9570635
1	736400	9571000	736150	9570635
2	736400	9572200	736150	9571835
3	737000	9572200	736750	9571835
4	737000	9573000	736750	9572635
5	738000	9573000	737750	9572635
6	738000	9572000	737750	9571635
7	737500	9572000	737250	9571635

1.4. Área concesionada

El área concesionada corresponde a las coordenadas que se describieron en el punto anterior (punto 1.3) en el que se indica las coordenadas en los sistemas PSAD 56

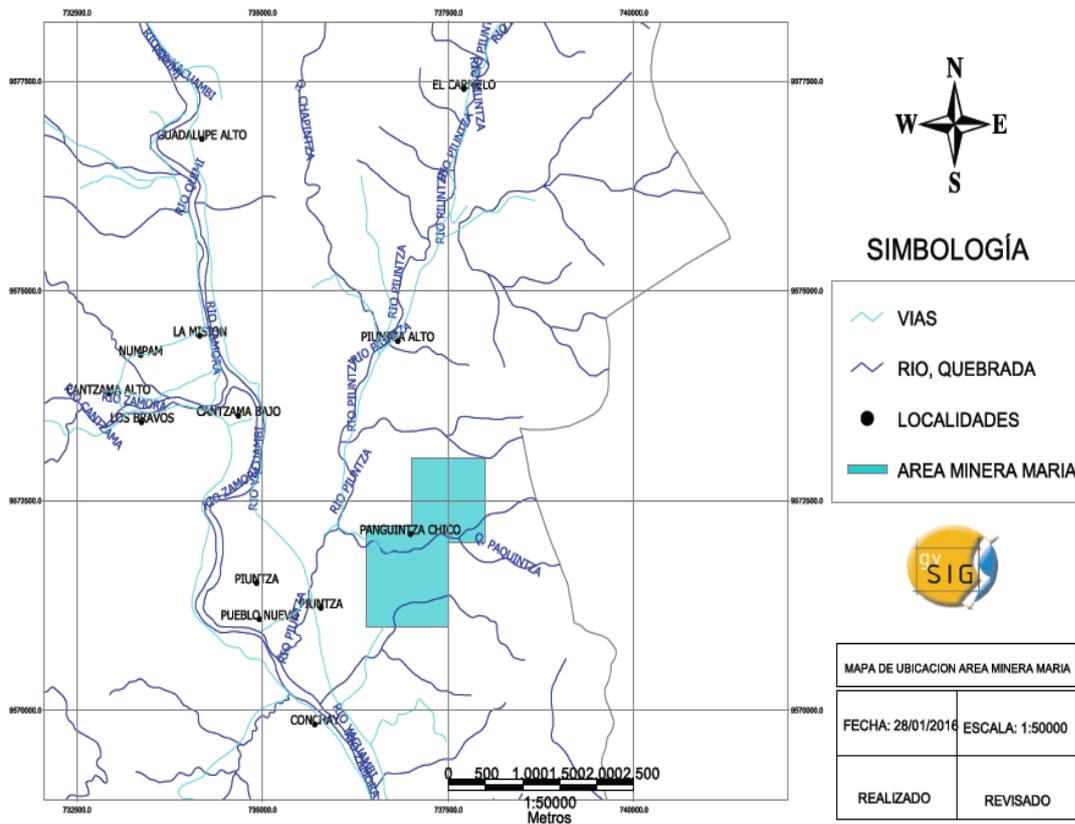


Figura 1.2: Ubicación y Área concesionada

Fuente: Datos Instituto Geográfico Militar

El Área Minera “María”, posee un área de extracción de 5.99 hectáreas mineras continuas, que se encuentran concesionadas para un tiempo de 21 años 11 meses 9 días.

El área se encuentra constituida por un intrusivo diorítico, el cual por medio de alteraciones y procesos geológicos ha generado que el material de interés sea en mayor porcentaje caolín y feldespato, con gran presencia de óxidos de manganeso.

El primer manifiesto de producción que presentó el Área Minera “María”, fue en febrero de 2005, y el segundo manifiesto se presentó el 22 de mayo de 2014.

Las coordenadas de los manifiestos se visualizan en la tabla 1.2

Tabla 1.2 Coordenadas de los manifiestos de producción

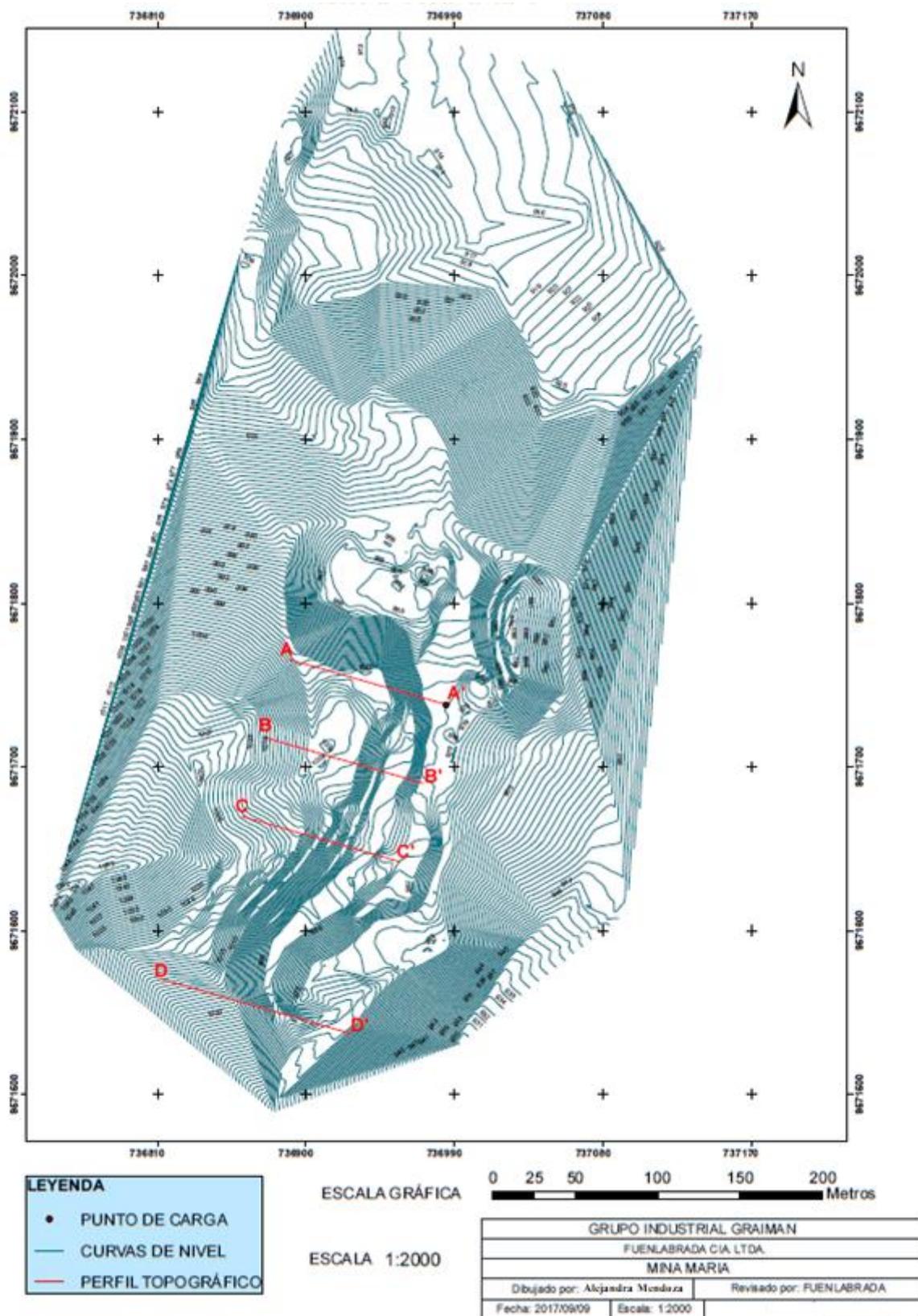
Punto	PSAD 56		WGS 84	
	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud
P.P.	736900	9571900	736650	9571535
1	737000	9571900	736750	9571535
2	737100	9571650	736850	9571285
3	736900	9571650	736650	9571285

Punto	PSAD 56		WGS 84	
	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud
P.P.	737100	9571650	736850	9571285
1	736900	9571950	736650	9571585
2	736850	9571600	736600	9571235
3	736960	9571484	736710	9571119

Fuente: Datos brindados por la Empresa.

ÁREA MINERA “MARÍA”

Figura 1.3: Topografía del Área Minera



1.5. Vías de acceso y comunicación

La Área Minera “María” de la empresa Fuenlabrada Cía. Ltda. se encuentra localizada en el sector sur oriental del Ecuador, 15 kilómetros al Este de la ciudad de Zamora, en el sector de Piuntza, parroquia Guadalupe, del cantón Zamora en la provincia de Zamora Chinchipe.

El acceso empieza siguiendo la vía de primer orden de la capital de Zamora, 10 km al noreste hasta llegar al pueblo de Piuntza en la parroquia de Guadalupe. A partir de este punto se debe tomar 5 km de camino de grava aproximadamente para llegar al área de estudio. (Figura 1.4)

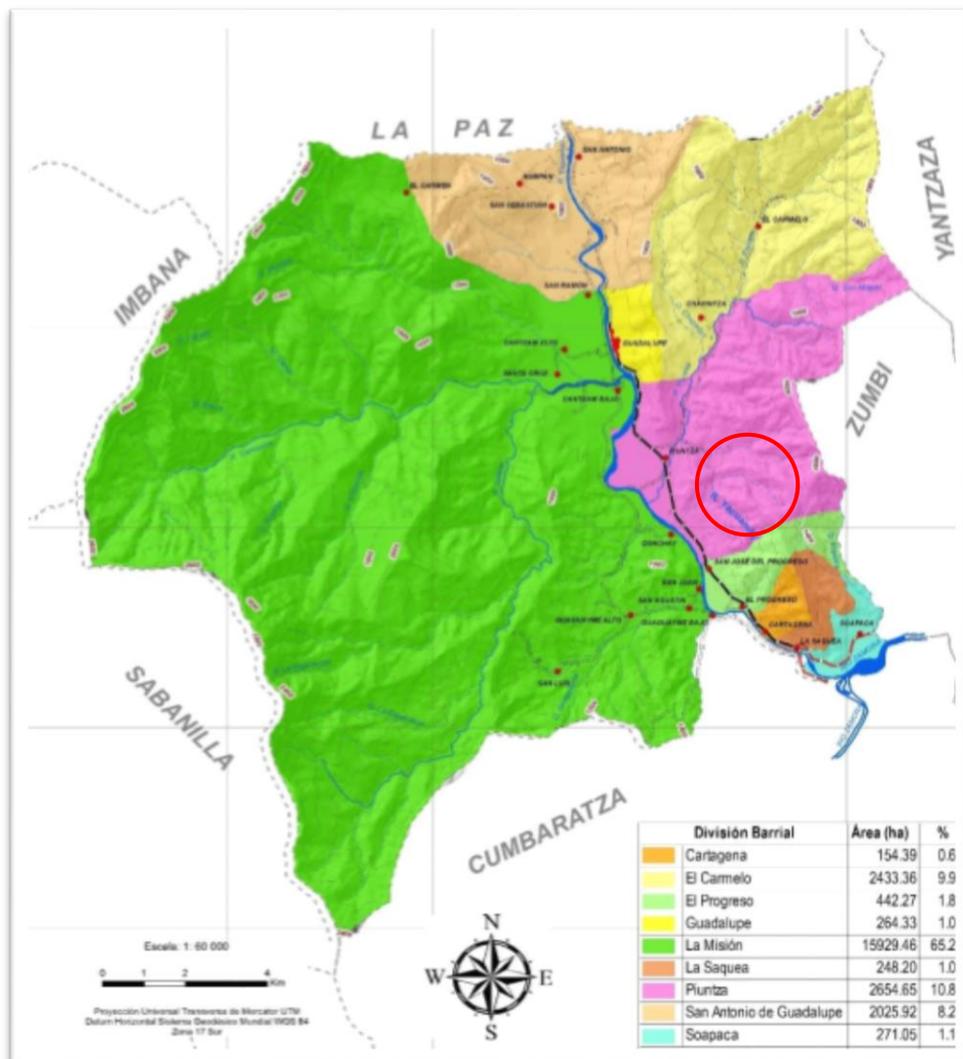


Figura 1.4: Ubicación y acceso del Área Minera María, parroquia Guadalupe

Fuente: Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Guadalupe.

1.6. Geología del área de estudio

1.6.1. Geología Regional

Regionalmente del Área Minera “María” se encuentra ubicada en terrenos lito tectónicos, de la cordillera Sub-Andina correspondiente al terreno de Zamora (Paleozoico a Cretácico Medio), en el cual se observa volcanismo continental, dominada por granodioritas de hornblenda, con presencia de diques aplíticos. (Litherland et al.... 1994).

1.6.2. Depósitos Aluviales

Forman terrazas auríferas en la parte baja, asociadas al río Yacuambi, constituidas por limo, arena y grava de poca consistencia, sobre una de estas terrazas, se encuentra asentada la población de Piuntza, cercana al Área Minera “María”. (Litherland et al.... 1994).

1.6.3. Rocas intrusivas

Toda el área minera, se encuentra incluida dentro del Intrusivo Batolítico de Zamora, fechado en el Jurásico, el cual está compuesto por un conjunto de rocas graníticas, variables hasta granodioritas hornbléndicas de grano grueso a medio, también se encuentran diques de roca aplítica o riolítica de color claro y grano fino. (Litherland et al.... 1994).

1.6.4. Geología del yacimiento

Dentro del área investigada, se encuentran rocas volcánicas claras de grano fino, que, en ciertas partes, se vuelven andesíticas, las rocas claras, son rolitas, que superficialmente, han sufrido una intensa meteorización, que ha ocasionado la caolinización y lixiviación de los feldespatos, originando una potente capa de caolín de color rojo y blanco, que se encuentra sobrescribiendo a la roca de fondo, aumentando la intensidad de la meteorización desde abajo hacia arriba.

Un perfil litológico representativo del área investigada, está representado por la siguiente secuencia:

- 1) 0.50 metros de suelo vegetal de color oscuro; con abundantes raíces de plantas. (Figura 1.5)



Figura 1.5: Suelo vegetal

- 2) Caolín de color rojo ladrillo de potencia variable, siendo nulo o mínimo por lo general en las partes bajas y potente (5 m), en las crestas de las lomas. (Figura 1.6)



Figura 1.6: Caolín de color rojo

- 3) Caolín de color blanco muy homogéneo y con poca contaminación, que igualmente presenta variaciones a lo largo y ancho del yacimiento, registrándose potencias máximo de hasta 9 metros. (Figura 1.7)



Figura 1.7: Caolín blanco

- 4) Roca feldespática riolítica de color blanco, muy fragmentada en el nivel superior y más compacta hacia el fondo, en donde se registra un incremento en el contenido de pirolusita. (Figura 1.8)



Figura 1.8: Feldespato ya fragmentado

En la parte baja del yacimiento existe un pequeño valle pantanoso, relleno con material coluvial y aluvial, cuyo envejecimiento natural, ha sido el agente formador de arcillas plásticas, que se localizan en el fondo.

1.7.Situación actual de las operaciones desarrolladas en el área de estudio

El sistema de explotación utilizado en el Área Minera “María” es a cielo abierto y por medio de bancos descendentes, como se puede observar en las figuras 1.9 y 1.10, donde se aprovecha gran parte del material que se encuentra en la concesión ya que sus propiedades son buenas para el producto final requerido. Según E.F. Sheshko el sistema de explotación corresponde al GRUPO B – 6, cuya característica principal es el acarreo del estéril a la escombrera (interior y exterior) con ayuda de medios de transporte. Ver tabla 1.3.

Tabla 1.3:Clasificación de los sistemas de explotación según el profesor E.F. Sheshko

GRUPOS DE SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN	SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN	DESIGNACIÓN CONVENCIONAL
A Con trasbordo del estéril a la escombrera por medio de excavadora o escombro transbordadoras (deslizamiento transversal) o sin transporte	Con trasbordo directo del estéril.	A – 1
	Con trasbordo múltiple del estéril por excavadoras	A – 2
	Con trasbordo del estéril por medio de escombro Transbordadores	A – 3
B Con acarreo del estéril a la escombrera con ayuda de medios de transporte (deslizamiento longitudinal) o con transporte.	A la escombrera interior	B – 4
	A la escombrera exterior	B – 5
	A ambas escombreras (interior y exterior)	B – 6



Figura 1.9: Vista frontal de los bancos



Figura 1.10: Vista lateral de los bancos

Las operaciones mineras (arranque, acarreo, carga y transporte) que se llevan a cabo en el área minera se realizan mediante equipos móviles, es decir no se tienen determinadas posiciones fijas para cada maquinaria, utilizándolas en función de las necesidades que se presenten en la

extracción de caolín y feldespato. Para ello la maquinaria utilizada en todas las actividades que se desarrollan en la concesión son escogidas dependiendo de las características establecidas por el sistema de explotación y tipo de material, las cuales son:

- Excavadora Caterpillar 320 BL #11(Figura 1.12)
- Excavadora Caterpillar 320 B #10 (Figura 1.12)
- Tractor Caterpillar D6 (Figura 1.11)



Figura 1.11:Tractor D6



Figura 1.12:Excavadora 320 BL

El yacimiento mineral presenta una forma alargada en dirección Norte a Sur, con un volumen total calculado de 52961,72 toneladas de mineral de interés de caolín y feldespatos, los cuales no requieren voladura ya que son materiales que presentan durezas entre 2 - 4.5 en la escala de Mohs permitiendo su extracción únicamente con el uso de maquinaria. Así mismo se efectúan trabajos de topografía teniendo como finalidad los cálculos de volúmenes, control de las pendientes, altura de los bancos, ángulos de los taludes, ancho de las bermas, los cuales son diseñados y acondicionados, según la maquinaria con la que se trabaja, por lo que se realizan de forma planificada y periódica permitiendo llevar un estricto control de estos parámetros, los que se pueden visualizar con más detalle en la tabla 1.4.

Tabla 1.4: Parámetros de diseño de la cantera

Parámetro	
Altura del banco	10 -12 m
Ángulo de talud del banco	55 ° - 60 °
Ancho Plataforma de trabajo	10 m
Ángulo del borde de trabajo	45 ° -50
Ancho de las bermas	3 m

Fuente: Fuenlabrada Cía. Ltda.

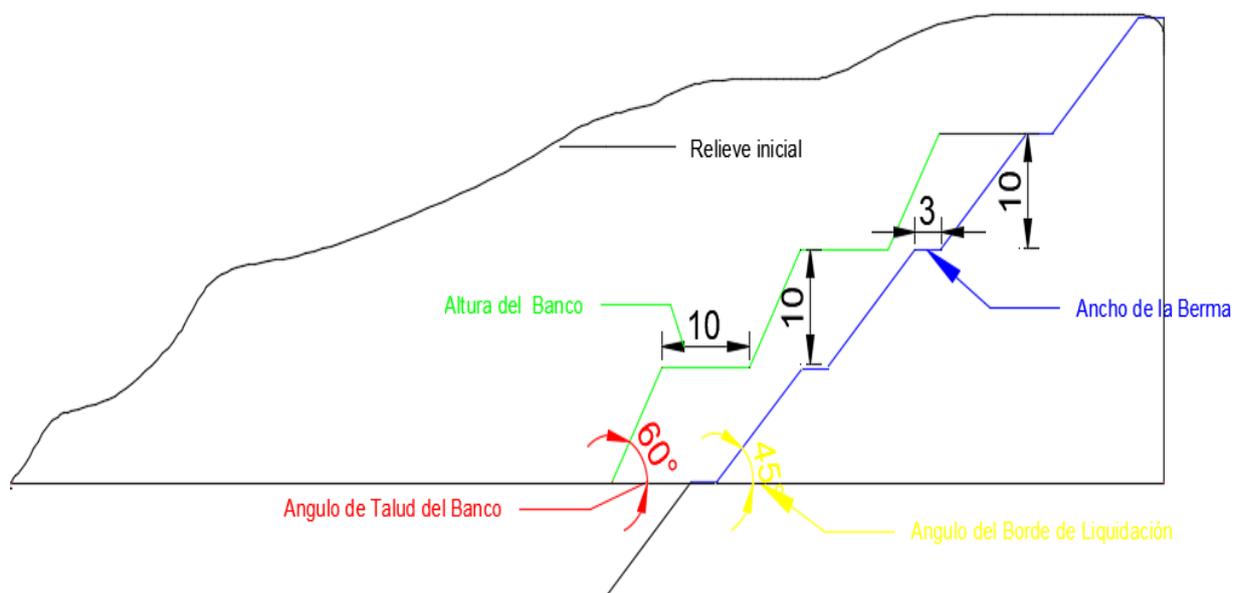


Figura 1.13: Parámetros de diseño de la cantera

1.8. Identificación de las actividades minero –operativas en el Área Minera María

1.8.1. Labores de Exploración

La exploración se realiza en las zonas aledañas del frente de explotación para encontrar nuevas reservas a las que se tienen calculadas, la exploración se realiza mediante la investigación en campo de los terrenos dentro y fuera de la concesión. Los indicios que revelan la existencia de mineralización siempre son la presencia de caolín y óxidos de manganeso.

Para poder ver la profundidad y existencia de material explotables es necesario realizar pozos a mano en puntos estratégicos siguiendo un patrón de malla planificado, de esta manera se puede determinar la existencia de un volumen considerable de material a explotar, así como también de la profundidad a la que se encuentra. (Figura 1.14)



Figura 1.14: Pozos de Exploración

Fuente: Fuenlabrada Cía. Ltda.

1.8.2. Labores de destape

Para poder llegar al material explotable se realiza el destape de material estéril, el cual se considera como estéril al no ser rentable su extracción o su uso en la producción de cerámica,

este material está constituido por materia orgánica y arcilla al mismo tiempo que presenta un pequeño porcentaje de hierro.

Para poder realizar el destape se realiza ingresos hacia los frentes que se van a ir explotando por medio de retroexcavadoras, una vez realizados los ingresos se construye plataformas de acuerdo al dimensionamiento del frente a extraer (Figura 1.15). Con ayuda de tractores D6 se nivelan según se avanza los bancos extrayendo el material estéril y acumulándolo para su posterior carga en volquetas y transportado a la escombrera.



Figura 1.15: Sobrecarga en el frente de explotación

1.8.3. Labores de explotación

La extracción del material de interés depende del banco destapado y de las propiedades que se presentan al instante de explotar, así como también según el sistema de explotación diseñado para su aprovechamiento completo (Figura 1.16).

Una vez que se retira la capa de material estéril, se procede a extraer el mineral (Feldespatos y Caolín) con ayuda de maquinaria (excavadoras) esto es debido a que las propiedades del material permiten esta forma de extracción. El desalojo se realiza de forma similar al destape, con la diferencia que es almacenado en puntos estratégicos de stock para su posterior transporte a las distintas plantas de tratamiento.



Figura 1.16: Banco destapado

1.8.4. Labores de carguío y transporte de caolín y feldespató

El material estéril que es desalojado de los bancos o frentes de explotación es acumulado a un extremo para ser cargado por excavadoras en volquetas. Los tiempos de carga varían en dependencia del tipo de volquetas y sus características. (Figura 1.17)



Figura 1.17: Carga de material de destape

Por otro lado, el carguío se realiza utilizando una excavadora hacia las diferentes volquetas con sus propias características, el trayecto a la escombrera principal es de 600 m, desde su punto de carga, así también existen varios puntos de descarga y acumulación de material estéril a diferentes distancias.

1.8.5. Acondicionamiento de escombrera

La escombrera se encuentra ubicada a 200 metros del área de estudio, la misma que está condicionada por las características físicas y mecánicas que se desarrollan en el transcurso de las actividades mineras.

el control que se realiza depende del material que se haya almacenado, ya que en varias ocasiones el material estéril, es utilizado como relleno en propiedades de los habitantes de los sectores aledaños. (Figura 1.18)



Figura 1.18:Escombreras y su acondicionamiento

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Minería a cielo abierto

La minería es uno de los temas más controversiales en nuestra sociedad. Por realizar grandes excavaciones para llegar al mineral de interés, causando grandes impactos. Sin embargo, la minería a cielo abierto es una de las actividades industriales que aporta con más del 70% de materiales a nivel mundial, gracias a la gran innovación que ha sufrido modificando radicalmente las técnicas de explotación pasando del aprovechamiento de yacimientos de gran valor por medios subterráneos a la explotación de minerales diseminados, es decir yacimientos de menor calidad. (MINERO, 2001).

“La minería a cielo abierto se caracteriza por los grandes volúmenes de materiales que se deben mover. La disposición del yacimiento y el recubrimiento e intercalaciones de material estéril determinan la relación estéril/mineral con que se debe extraer este último. Este parámetro, comúnmente denominado "ratio", puede ser muy variable de unos depósitos a otros, pero en todos condiciona la viabilidad económica de las explotaciones y, consecuentemente, la profundidad que es posible alcanzar por minería de superficie”.(Herrera Herbert & de Urbina, 2006,p.2)

Por otra parte, Bellotti, M. L. (2011). También define a la minería a cielo abierto como:

“El proceso de explotación minera que se realiza en la superficie terrestre, no se efectúa en galerías subterráneas. Para extraer minerales de estos yacimientos, se remueve gran cantidad de tierra con maquinaria y explosivos, se crean inmensos cráteres que pueden llegar a ocupar más de 100 hectáreas y normalmente alcanzan de 200 metros a 800 metros de profundidad. Frecuentemente se construyen rampas en forma de espiral, para

que puedan subir los camiones con el mineral desde el fondo del yacimiento. Los cráteres se agrandan cada vez más, hasta que la empresa deja de explotar el yacimiento por considerar que ya no resulta rentable”. (pag.1).

2.1.1. Métodos de explotación en minera cielo abierto

Los métodos de explotación se clasifican en base al tipo de roca, geometría del depósito, y el nivel tecnológico que se implemente. (MINERO, 2001). Por lo tanto, los métodos de explotación más usados son:

- Canteras: Utilizado principalmente para la extracción de rocas industriales, ornamentales y materiales de construcción. (Herrera Herbert & de Urbina, 2006)
- Cortas: yacimientos masivos o capas inclinadas, implementado en minería de metálicos de origen intrusivo.(Herrera Herbert & de Urbina, 2006)
- Transferencia: Para extracción de carbón.(MINERO, 2001)

2.1.2. Etapas de explotación en minería a cielo abierto

a) Destape

Es el medio por el cual se puede retirar toda la sobrecarga dejando preparado el material útil para ser arrancado, utilizando cualquier método, ya sea implementando perforación y voladura utilizado para rocas duras, o por medio de maquinarias (retroexcavadoras, buldócer que se utiliza para la extracción de rocas suaves. Esta etapa permite mantener los suelos fértiles y conservar las especies nativas de flora y fauna. (BARRAGAN, J., 2007).

b) Arranque

Esta etapa consiste en la aplicación de un conjunto de técnicas en la que se separa la roca del macizo rocoso, donde a su vez es necesario fragmentar la roca para facilitar la carga y transporte del material. Esta operación varia de un yacimiento a otro ya que dependerá del tipo de roca con el que se trabaje, procediendo a realizar bancos descendentes con ayuda de

maquinaria de perforación y posteriormente realizar voladura en el caso que el macizo presente rocas duras, por otro lado, cuando el macizo presenta rocas suaves se procede directamente con la ayuda de maquinaria (excavadores), que disgrega la roca para posteriormente realizar la carga y transporte de este material. (BARRAGAN, J., 2007).

c) Carga y transporte

La carga se realiza simultáneamente con el arranque, mediante retroexcavadoras, recogiendo el material heterogéneo, y llevándolo hacia los que a su vez trasladaran el material fuera del área de explotación para proceder a clasificarlo. (BARRAGAN, J., 2007).

d) Clasificación

Se puede proceder de dos formas dependiendo, el tipo de arranque por el que se obtuvo el material, el material que ha sido fragmentado por voladura se lleva para alimentar las trituradoras sea esta de mandíbulas o cónica, de donde se obtendrá los diferentes productos; por otro lado, el material que se ha obtenido por laboreo con excavadoras es llevado a zarandas estacionarias, donde se clasifica el material según su tamaño para posteriormente alimentar molinos y así conseguir el material deseado. (BARRAGAN, J., 2007).

2.1.3. Avance de explotación de minería cielo abierto

En minería a cielo abierto las características de explotación son comunes en los métodos planteados anteriormente, diferenciados tan solo por el tipo de mineral que se requiere extraer y el sistema de arranque, por lo que a continuación se describirá estas características. (MINERO, 2001).

a. Talud y altura del banco

Sabiendo que el talud es el ángulo determinado por la horizontal formado por el pie del banco con respecto a la línea de pendiente máxima en la cara del mismo y que la altura del banco se define como el escalón comprendido entre dos cotas las cuales constituyen el

bloque de mineral o estéril a extraer (Bermeo Chiriboga, 2017). Según lo anteriormente citado se puede señalar que el talud y la altura del banco son variables de vital importancia para la elección de la tecnología de explotación, estas variables se encuentran definidas por las características de perforación, voladura y excavación, teniendo como principal objetivo el máximo rendimiento, debido a que el factor decisivo es la producción, de esta manera mientras mayor sea la reserva y mercado, mayor será la capacidad de la maquinaria y los bancos más altos; es decir el perfil del banco se acondicionara a las necesidades del equipo y no al revés, dependiendo siempre del tipo de roca con el que se vaya a trabajar, debiendo satisfacer varias condiciones como son asegurar la conducción de los trabajos, costo mínimo de unidad de producción, rendimiento máximo del equipo de la corta y corresponder a su producción. (MINERO, 2001,p.7.)

Tabla 2.1:Ángulos De Taludes Estables De Los Bancos En Trabajo

CARÁCTER DEL BANCO Y DE LAS ROCAS	ALTURA DEL BANCO NO MAYOR DE M.	ANGULO DE TALUD (GRADOS.)
Bancos de Excavación: Rocas eruptivas	No limitada	70 – 90
Rocas sedimentarias	Idem	50 - 60
Rocas semifirmes y rocas arenosas secas.	25 - 30	40 -50
Rocas areno-arcillosas y arcillosas	25 - 30	35 - 45
Bancos de escombreras con arado: Rocas firmes y arenosas	20 – 25	30 – 35
Rocas areno - arcillosas	10 – 15	35 – 40
Rocas arcillosas.	8 - 10	35 - 40
Bancos de escombreras con excavadoras: Rocas firmes y arenosas	40 –60	30 – 33
Rocas areno arcillosas	30 -45	33 - 36
Rocas arcillosas	20 - 30	38 - 40
Rocas areno - arcillosas Húmedas.	10 -15	18 - 25

Fuente: (Mínero, 2001)

2.1.4. Minería de cerámicos

Las diferencias naturales que asignan las características estructurales y las aplicaciones de cada uno de los materiales, dan lugar a seleccionar uno de los submétodos de la minería a cielo abierto, en el caso de la industria cerámica la cual en los últimos años ha sufrido una gran evolución, reflejada en el incremento de su demanda, se caracteriza por realizar exportaciones en canteras que es el termino genérico para la explotación de rocas industriales, ornamentales y materiales de construcción, tratándose frecuentemente de pequeñas explotaciones que tienen como fin el abastecimiento de materias primas para la industria, generalmente el método de explotación utilizado es por banqueo con niveles, en donde para los materiales cerámicos es fundamental obtener el mineral fragmentado y apto para alimentar a la planta de tratamiento.(Herrera Herbert & de Urbina, 2006)

2.1.5. Definición y características de caolín

El caolín es una roca arcillosa que se encuentra formada fundamentalmente por caolinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) blanca, procedente principalmente de la alteración hidrotermal de rocas magmáticas acidas (tipo leucogranito), ricas en feldespatos potásicos y pobres en minerales ferromagnesianos, la cual forma parte de las porcelanas. (Foucault & Raoult, 1985,p.47).

➤ Propiedades físicas del caolín

La característica principal del grupo de los caolines, son sus estructuras compuestas por láminas de sílice ligadas a láminas de gibbsita modificadas (Tabla 2.2). (García García, 1997)

Tabla 2.2: Principales Propiedades Físicas del Caolín

COLOR	BLANCO, GRIS O AMARILLENTO
ASPECTO	UNTUOSO AL TACTO
BRILLO	TERROSO MATE O NACARADO CUANDO ES CRISTALINO
RAYA	BLANCA
DENSIDAD	2,40 - 2,64 g/cm ³
DUREZA	2 - 2,5

Fuente: Bartolomé, J. F. (1997). El Caolín: composición, estructura, génesis y aplicaciones. Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio, 36(1), 7-20.

Para poder concentrar el mineral, este debe ser sometido a varios procesos debido a que el caolín posee un contenido variable de caolinita y haloisita, en donde se elevan por encima de 80% el contenido de los filosilicatos. (Bartolomé, 1997)

➤ **Extracción y procesamiento del caolín**

Para la explotación de este material se usan métodos convencionales a cielo abierto, dependiendo de las condiciones del yacimiento y la economía de costos. Para que un yacimiento de caolín sea económicamente rentable este debe contener una cantidad suficiente de sustancia plástica, la misma que podrá ser separada por enriquecimiento, obteniendo de esta manera un material blanco o casi blanco. Sus aplicaciones y tratamiento se definen mediante la historia geológica y de los estudios mineralógicos del depósito. (Bartolomé, 1997)

2.1.6. Definición y características de feldespato

Los feldespatos son los minerales más abundantes sobre la corteza terrestre, formados por tres componentes básicos (feldespato potásico ($KAlSi_3O_8$), albita ($NaAlSi_3O_8$), anortita ($CaAl_2Si_2O_8$)), con una dureza de 6- 6,5 en la escala de Mohs. (Griem, n.d.). Se definen por ser minerales esenciales de la mayoría de rocas magmáticas, presentando estructuras prismáticas de variable desarrollo, con un coloración transparente o blanquecina,

frecuentemente grisáceos y en algunos casos por la presencia de inclusiones tiende a tener coloraciones rosa o verde. (Foucault & Raoult, 1985).

➤ **Extracción y procesamiento del feldespató**

Para la extracción de feldespató, usualmente se usan métodos convencionales de minería a cielo abierto, dependiendo de las condiciones que presente el depósito, normalmente se usan retroexcavadoras, palas mecánicas-hidráulicas y camiones.(Mexicano, 2014).

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de estudio

El tipo de estudio del presente proyecto es descriptivo, dando a conocer detalladamente cada una de las actividades desarrolladas en el área minera, prospectivo debido a que el proyecto generará la base para realizar la optimización del proceso de extracción, reduciendo costos de producción, donde el principal objetivo es mejorar la rentabilidad económica en la concesión, con la toma de decisiones adecuadas, y de campo ya que para la recolección de datos se utilizarán diferentes métodos in situ.

3.2. Técnicas de investigación

La metodología prevista fue en primer lugar la revisión bibliográfica exhaustiva, adquiriendo una visión amplia del tema a desarrollar. Dicha información incluye la consulta en libros, revistas, tesis de grado, etc.

Simultáneamente se recopiló información para el desarrollo del proyecto a través de informes de producción de los últimos 6 meses, así también la técnica para la recopilación de datos en el campo fue por observación directa, utilizando tablas, libreta de campo y registros fotográficos. Posteriormente la información fue procesada con la ayuda de calculadoras Simplex virtuales y hojas de cálculo que permitieron realizar gráficos estadísticos y diagramas de resumen de los resultados obtenidos.

3.3. Costos Minero – Operativos

Para realizar una propuesta de optimización es necesario el cálculo de los costos minero-operativos donde se debe tener conocimiento de varios aspectos como son: tipo de material que

se extrae, maquinaria con la que se está trabajando, costo horario, costos de transporte, costo por tonelada, producción, rendimientos. (Anexos del 1-3).

Al procesar y evaluar todos los datos anteriormente mencionados se obtendrá datos en tiempo real y el costo de producción, contribuyendo al objetivo del presente proyecto, que es la reducción de costos generando un incremento de ganancias y beneficios a la empresa.

3.4. Identificación de variables de los procesos mineros

Para el desarrollo óptimo de los procesos mineros se debe realizar un análisis muy profundo de todas sus variables.

La extracción del caolín y feldespato generan costos que se encuentra condicionados por factores como son: el tipo de material, tipo de maquinaria y el costo de su alquiler.

El transporte del material depende de la maquinaria de acarreo, la distancia y el costo por tonelada transportada, actualmente se realiza de la mina al patio de stock, que es el patio de stock de la concesión.

En definitiva, la principal variable que se debe analizar para tener una producción óptima es la maquinaria utilizada para los procesos.

3.5. Determinación de relaciones entre variables de los procesos

La principal variable que se relaciona tanto con la extracción de mineral de interés y el transporte es la granulometría de gran dimensión (> 60cm), misma que no puede ser acarreada, transportada, ni triturada por no ser apta para la maquinaria utilizada generando bajas producciones y por lo que la empresa se ve obligada a dejar de lado este material, siendo esto una pérdida económica para la empresa.

3.6. Interpretación de Resultados

Partiendo del cálculo de tiempo de ciclos, rendimientos y distancia que se debe transportar el material, se establecen parámetros que indican la optimización que se puede realizar en la extracción de caolín y feldespatos. (Anexo 4 - 21)

El principal objetivo es aumentar el rendimiento de cada maquinaria controlando los tiempos, realizando una mejora que a su vez reducirá costos de producción. Se obtuvo dos rendimientos el real donde se consideró los imprevistos durante el desarrollo de las actividades, y el teórico en el cual se consideró solo las condiciones favorables donde la maquinaria muestra mayor eficiencia, estos cálculos se los realizaron basándose en el manual de rendimiento 39° Edición enero 2009.

Se puede visualizar en tabla 3.1 que al calcular el rendimiento teórico de las maquinarias se debe aplicar un factor de corrección del 90% que nos dará el rendimiento óptimo de cada maquinaria orientando al mejoramiento que se debe realizar en el área, en donde se considera todas las condiciones de trabajo.

De la misma forma en la tabla 3.2 realizando el análisis concerniente se puede verificar que entre los rendimientos reales y el rendimiento óptimo si existe una diferencia, obteniendo de la misma manera una reducción en el costo de 0,32 ctvs. por cada metro cubico extraído de caolín, que al extraer anualmente 32768,6748 m³ de mineral representar un ahorro anual de USD \$10485,97

Tabla 3.1: Resultados de rendimiento de maquinaria

ACTIVIDAD	EQUIPO	COSTO HORARIO (\$/h)	RENDIMIENTO REAL (m3/h)	COSTO UNITARIO (\$/m3)	RENDIMIENTO TEÓRICO (m3/h)	EFICACIA (%)
arranque	Excavadora Caterpillar 320 BL #10	58	173,53	0,33	244,02	71,113
arranque	Excavadora Caterpillar 320 BL #11	58	173,53	0,33	244,02	71,113
acarreo	Tractor Caterpillar D6	60	72,28	0,83	99,64	72,5411
acarreo	Tractor Caterpillar D6	60	72,28	0,83	99,64	72,5411
acarreo	Excavadora Caterpillar 320 BL #10	58	173,53	0,33	244,02	71,113
acarreo	Excavadora Caterpillar 320 BL #11	58	173,53	0,33	244,02	71,113
carga	Excavadora Caterpillar 320 BL #10	58	173,53	0,33	244,02	71,113
carga	Excavadora Caterpillar 320 BL #11	58	173,53	0,33	244,02	71,113

ACTIVIDAD	EQUIPO	RENDIMIENTO REAL (m3/h)	RENDIMIENTO REAL (ton/h)	COSTO UNITARIO (\$/ton)	COSTO Horario (\$/h)	RENDIMIENTO TEÓRICO (m3/h)	RENDIMIENTO TEÓRICO (ton/h)	EFICACIA (%)
transporte-saquea	Volquete AAW352	11,7	29,484	1,7	50,1228	12,5	31,5	93,6
transporte-saquea	Volquete LBB4114	12,31	31,0212	1,7	52,73604	13,46	33,9192	91,5
transporte-saquea	Volquete KBA0629	9,37	23,6124	1,7	40,14108	12,8	32,256	73,2
transporte-saquea	Volquete LCD0933	9,64	24,2928	1,7	41,29776	10	25,2	96,4
transporte-saquea	Volquete GCF075	12,34	31,0968	1,7	52,86456	12,61	31,7772	97,9
transporte-saquea	Volquete GKR060	14,08	35,4816	1,7	60,31872	15	37,8	93,9

Tabla 3.2:Posible mejora

ACTIVIDAD	EQUIPO	COSTO HORARIO (\$/h)	RENDIMIENTO OPTIMO (m3/h)	COSTO OPTIMO UNITARIO (\$/m3)	COSTO REAL UNITARIO (\$/m3)	REDUCCION DE COSTO EN(\$/m3)
Arranque	Excavadora Caterpillar 320 BL #10	58	219,618	0,26	0,33	0,07
Arranque	Excavadora Caterpillar 320 BL #11	58	219,618	0,26	0,33	0,07
Acarreo	Tractor Caterpillar D6	60	89,676	0,67	0,83	0,16
Acarreo	Tractor Caterpillar D6	60	89,676	0,67	0,83	0,16
Acarreo	Excavadora Caterpillar 320 BL #10	58	219,618	0,26	0,33	0,07
Acarreo	Excavadora Caterpillar 320 BL #11	58	219,618	0,26	0,33	0,07
Carga	Excavadora Caterpillar 320 BL #10	58	219,618	0,26	0,33	0,07
Carga	Excavadora Caterpillar 320 BL #11	58	219,618	0,26	0,33	0,07
ACTIVIDAD	EQUIPO	COSTO REAL (\$/m3)	RENDIMIENTO OPTIMO (m3/h)	COSTO OPTIMO UNITARIO (\$/m3)	COSTO REAL UNITARIO (\$/m3)	REDUCCION DE COSTO EN(\$/m3)
transporte-saquea	Volquete AAw352	0,674603175	11,25	0,1	0,674603175	0,6
transporte-saquea	Volquete LBB4114	0,674603175	12,114	0,1	0,674603175	0,6
transporte-saquea	Volquete KBA0629	0,674603175	11,52	0,1	0,674603175	0,6
transporte-saquea	Volquete LCD0933	0,674603175	9	0,1	0,674603175	0,6
transporte-saquea	Volquete GCF075	0,674603175	11,349	0,1	0,674603175	0,6
transporte-saquea	Volquete GKR060	0,674603175	13,5	0	0,674603175	0,6
promedio de reducción de costos						0,32

CAPÍTULO IV

OPTIMIZACIÓN

4.1.Planteamiento de la propuesta

En base a los resultados obtenidos, la opción idónea para el proyecto es la programación lineal, la cual da respuestas a situaciones en donde se busca maximizar o minimizar circunstancias que presentan limitaciones.

Una de las herramientas más eficaces es el método simplex que permite realizar el mejoramiento en cada paso para la función objetivo, concluyendo cuando no existe la posibilidad de realizar otra mejora, es decir cuando se ha alcanzado la máxima optimación.

En el presente proyecto la función objetivo será el costo que genera Área Minera “María “en un día normal de operaciones en los que intervienen las componentes tales como: tipo de maquinaria, costo horario de la misma, tipo y cantidad de material a remover, y rendimiento de la maquinaria.

4.2.Diseño del proyecto

4.2.1. Diseño del proyecto para una producción alta de caolín

Este diseño plantea una función objetivo donde se minimice costos cuando la producción de caolín y feldespatos es alta, llegando a tener un volumen mensual de 2297 m³ cumpliendo con la producción anual requerida de 27564 m³, tal y como se puede observar en la tabla 4.1.

La función objetivo que se plantea modificará las horas de trabajo de la maquinaria en cada una de las actividades que se desarrollan en el área minera, reduciendo costos, cumpliendo con la producción mensual requerida y optimizando cada una de estas actividades.

Para el planteamiento de la función objetivo se asigna una variable a cada equipo asociando sus costos horarios. Las restricciones se plantean en base a los rendimientos de cada uno de los equipos, limitándose con respecto a la producción requerida.

Tabla 4.1:Costos de producción, resumen con alta producción

Producción (m ³)	Volquete GKR060	Volquete GCF075	Volquete LCD0933	Volquete KBA0629	Volquete LBB4114	Volquete AAW352	Tractor Caterpillar D6	Excavadora Caterpillar 320 BL #11	Excavadora Caterpillar 320 BL #10	EQUIPO	ACTIVIDAD	
											ARRANQUE (m ³)	ACARREO (m ³)
2418								173,53	173,53			
2418							72,28	173,53	173,53			
2297								173,53	173,53			
2297	14,08	12,34	9,64	9,37	12,31	11,7						TRANSPORTE (m ³)
	60,319	52,8646	41,2978	40,1411	52,736	50,1228	60	58	58			COSTO HORARIO (USD \$)
	X9	X8	X7	X6	X5	X4	X3	X2	X1			VARIABLES

4.2.1.1. Arranque:

La función objetivo para el arranque se plantea en base a los costos horarios de cada excavadora, que son los equipos utilizados para el desarrollo de esta actividad (tabla 4.2).

Se obtienen dos soluciones, la primera solución descarta la utilización de dos excavadoras, planteando utilizar una sola Excavadora Caterpillar 320 BL para arrancar 2418 m³ trabajando 13,98 horas a USD\$ 810,66. Obsérvese en la tabla 4.3.

Tabla 4.2: Método simplex aplicado en arranque cuando se tiene producción alta.

Función objetivo	UN EQUIPO	DOS EQUIPOS
Restricción 1	$Z = 58 X_1 + 58 X_2$	
Restricción 2	$173,53 X_1 + 173,53 X_2 \geq 2418$	$173,53 X_1 + 173,53 X_2 \geq 2418$
Solución		$x_1 - x_2 = 0$
Solución	$X_1 = 13.98$	$X_1 = 6.96$
	$X_2 = 0$	$X_2 = 6.96$
	$S_1 = 0$	$S_1 = 0$
	$A_1 = 0$	$A_1 = 0$

La segunda solución utiliza dos Excavadoras Caterpillar 320 BL, que de la misma forma realizará el arranque de 2418 m³ trabajando 6,96 horas por un valor de USD\$807,36.

	X_1	X_2		
Min Z =	58	58		
Restricción 1	173,53	173,53	\geq	2418

Min Z = $58X_1 + 58X_2$
 Sujeto a:
 $173,53X_1 + 173,53X_2 \geq 2418$
 $X_i \geq 0$

Problema Lineal

Objetivo: Maximizar Minimizar:

Número de variables:

Número de Restricciones:

$$\text{Min } Z = 58X_1 + 58X_2 + 0S_1 + 1MA_1$$
 Sujeto a:

$$173X_1 + 173X_2 - 1S_1 + 1A_1 = 2418$$

$$X_i \geq 0$$

X_i = Variables de decisión
 S_i = Variables de holgura o superávit
 A_i = Variables artificiales

Variable que entra: X_1
 Variable que sale: A_1

Figura 4.1: Función objetivo para el arranque cuando se tiene una producción alta.

Fuente: <http://ingenieria-industrial.net/software/jsimplex>

Tabla 4.3: Resolución función objetivo para arranque utilizando un equipo, cuando se tiene una producción alta

	Min Z =	58	58	0	1M		
Coef	Base	X_1	X_2	S_1	A_1	R.H.S	Theta
1M	A_1	173	173	-1	1	2418	13.98
	Z	173M	173M	-1M	M	2418M	
	$C_j - Z_j$	-173M + 58	-173M + 58	M	0		

Gauss-Jordan: Fila Pivote	1.7e+2	1.7e+2	-1.0	1.0	2.4e+3
Fila Pivote convertida	1.0	1.0	-0.0058	0.0058	14

	Min Z =	58	58	0	1M		
Coef	Base	X_1	X_2	S_1	A_1	R.H.S	Theta
58	X_1	1	1	-0.01	0.01	13.98	13.98
	Z	58	58	-0.34	0.34	810.66	
	$C_j - Z_j$	0	0	0.34	M-0.34		

SOLUCIÓN

$$X_1 = 13.98$$

$$X_2 = 0$$

$$S_1 = 0$$

$$A_1 = 0$$

$$Z = 810.66$$

Fuente: <http://ingenieria-industrial.net/software/jsimplex>

4.2.1.2.Acarreo

La función objetivo para el acarreo se plantea en base a los costos horarios de cada equipo

(Excavadoras Caterpillar 320 BL, tractor D6), utilizados para el desarrollo de esta actividad como se puede visualizar en las tablas 4.4 y 4.6.

En el proceso de acarreo la solución expone que se necesita una excavadora Caterpillar 320 BL que trabajara 33,58 horas, y un tractor D6 33,58 horas lo cual no contaría como solución óptima ya que para realizar el proceso se requiere que los equipos trabajen tiempos iguales o muy próximos, por un costo de USD\$ 3990,15

Tabla 4.4: Método simplex aplicado en acarreo utilizando una excavadora, con producción alta.

	UTILIZANDO UNA ESCAVADORA
Función objetivo	$Z = 58 X_1 + 58 X_2 + 60 X_3$
Restricción 1	$72,28 X_3 \geq 2418$
Restricción 2	$173,53 X_1 + 173,53 X_2 \geq 2418$
Solución	$X_1 = 33,58$
	$X_2 = 0$
	$X_3 = 33,58$
	$S_1 = 0$
	$S_2 = 0$
	$A_1 = 0$
	$A_2 = 0$
	$Z = 3990,15$

Problema Lineal

Objetivo: Maximizar Minimizar:

Número de variables:

Número de Restricciones:

	X_1	X_2	X_3		
Min Z =	58	58	60		
Restricción 1	0	0	72,28	>=	2418
Restricción 2	173,53	+173,5	0	>=	2418

$$\text{Min } Z = 58X_1 + 58X_2 + 60X_3$$

Sujeto a:

$$72,28X_3 \geq 2418$$

$$173,53X_1 + 173,5X_2 \geq 2418$$

$$X_i \geq 0$$

$$\text{Min } Z = 58X_1 + 58X_2 + 60X_3 + 0S_1 + 0S_2 + 1MA_1 + 1MA_2$$

Sujeto a:

$$+72X_3 - 1S_1 + 1A_1 = 2418$$

$$173X_1 + 173X_2 - 1S_2 + 1A_2 = 2418$$

$$X_i \geq 0$$

X_i = Variables de decisión

S_i = Variables de holgura o superávit

A_i = Variables artificiales

Variable que entra: X_1

Variable que sale: A_2

Figura 4.2: Función objetivo para el acarreo utilizando una excavadora, cuando se tiene una producción alta

Fuente: <http://ingenieria-industrial.net/software/jsimplex>

Tabla 4.5: Resolución función objetivo para acarreo, cuando se tiene una producción alta

	Min Z =	58	58	60	0	0	1M	1M		
Coef	Base	X_1	X_2	X_3	S_1	S_2	A_1	A_2	R.H.S	Theta
1M	A_1	0	0	72	-1	0	1	0	2418	-
1M	A_2	173	173	0	0	-1	0	1	2418	13.98
	Z	173M	173M	72M	-1M	-1M	M	M	4836M	
	$C_j - Z_j$	-173M + 58	-173M + 58	-72M + 60	M	M	0	0		

Gauss-Jordan .Fila Pivote	1.7e+2	1.7e+2	0.0	0.0	-1.0	0.0	1.0	2.4e+3
Fila Pivote convertida	1.0	1.0	0.0	0.0	-0.0058	0.0	0.0058	14
Restricción 1	0.0	0.0	72	-1.0	0.0	1.0	0.0	2.4e+3
Fila pivote * 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nueva restricción 1	0.0	0.0	72	-1.0	0.0	1.0	0.0	2.4e+3

Variable que entra: X_3 Variable que sale: A_1

	Min Z =	58	58	60	0	0	1M	1M		
Coef	Base	X_1	X_2	X_3	S_1	S_2	A_1	A_2	R.H.S	Theta
1M	A_1	0	0	72	-1	0	1	0	2418	33.58
58	X_1	1	1	0	0	-0.01	0	0.01	13.98	-
	Z	58	58	72M	-1M	-0.34	M	0.34	2418M + 810.68	
	$C_j - Z_j$	0	0	-72M + 60	M	0.34	0	M - 0.34		

Gauss-Jordan .Fila Pivote	0.0	0.0	72	-1.0	0.0	1.0	0.0	2.4e+3
Fila Pivote convertida	0.0	0.0	1.0	-0.014	0.0	0.014	0.0	34
Restricción 2	1.0	1.0	0.0	0.0	-0.0058	0.0	0.0058	14
Fila pivote * 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nueva restricción 2	1.0	1.0	0.0	0.0	-0.0058	0.0	0.0058	14

	Min Z =	58	58	60	0	0	1M	1M		
Coef	Base	X ₁	X ₂	X ₃	S ₁	S ₂	A ₁	A ₂	R.H.S	Theta
60	X ₃	0	0	1	-0.01	0	0.01	0	33.58	33.58
58	X ₁	1	1	0	0	-0.01	0	0.01	13.98	-
	Z	58	58	60	-0.83	-0.34	0.83	0.34	2825.66	
	C _i -Z	0	0	0	0.83	0.34	M-0.83	M-0.34		

SOLUCIÓN

$$\begin{aligned} X_1 &= 13.98 \\ X_2 &= 0 \\ X_3 &= 33.58 \\ S_1 &= 0 \\ S_2 &= 0 \\ A_1 &= 0 \\ A_2 &= 0 \\ Z &= 2825.66 \end{aligned}$$

Fuente: <http://ingenieria-industrial.net/software/jsimplex>

Utilizando dos retroexcavadoras

Esta solución presenta la opción de utilizar dos retroexcavadoras Caterpillar 320 BL y un tractor Caterpillar D6 estos tres equipos deberán trabajar 33,45horas, por un costo de USD\$ 5887,76. cumpliendo con la producción requerida de 2418 metros cúbicos mensuales.

Tabla 4.6:Método simplex aplicado en acarreo utilizando dos excavadoras con producción alta

	UTILIZANDO DOS ESCAVADORAS
Función objetivo	$Z = 58 X_1 + 58 X_2 + 60 X_3$
Restricción 1	$72,28 X_3 \geq 2418$
Restricción 2	$173,53 X_1 + 173,53 X_2 \geq 2418$
Restricción 3	$X_1 - X_2 = 0$
Restricción 4	$-X_2 + X_3 = 0$
Solución	$Z = 5887.7697841727$ $X_1 = 33.453237410072$ $X_2 = 33.453237410072$ $X_3 = 33.453237410072$

Problema Lineal
 Objetivo: Maximizar Minimizar:
 Número de variables:
 Número de Restricciones:

	X_1	X_2	X_3		
Min Z =	58	58	60		
Restricción 1	0	0	72,28	\geq	2418
Restricción 2	173,53	+173.5	0	\geq	2418
Restricción 3	1	-1	0	$=$	0
Restricción 4		-1	+1	$=$	0

Min Z = $58X_1 + 58X_2 + 60X_3$
 Sujeto a:
 $72,28X_3 \geq 2418$
 $173,53X_1 + 173,5X_2 \geq 2418$
 $X_1 - X_2 = 0$
 $-X_2 + X_3 = 0$
 $X_i \geq 0$

Figura 4.3: Función objetivo para acarreo utilizando dos equipos, cuando se tiene una producción alta

Fuente: <http://ingenieria-industrial.net/software/jsimplex>

Tabla 4.7: Resolución función objetivo para acarreo utilizando dos excavadoras, con producción alta

Tabla 1			0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1
Base	C_b	P_0	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9
P_8	-1	2418	0	0	72.28	-1	0	0	0	1	0
P_9	-1	2418	173.53	173.53	0	0	-1	0	0	0	1
P_7	-1	0	-1	1	0	0	0	0	1	0	0
P_6	-1	0	0	1	-1	0	0	1	0	0	0
Z		-4836	-172.53	-175.53	-71.28	1	1	0	0	0	0

Tabla 2			0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1
Base	C_b	P_0	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9
P_8	-1	2418	0	0	72.28	-1	0	0	0	1	0
P_9	-1	2418	173.53	0	173.53	0	-1	-173.53	0	0	1
P_7	-1	0	-1	0	1	0	0	-1	1	0	0
P_2	0	0	0	1	-1	0	0	1	0	0	0
Z		-4836	-172.53	0	-246.81	1	1	175.53	0	0	0

Tabla 3			0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1
Base	C _b	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉
P ₈	-1	2418	72.28	0	0	-1	0	72.28	-72.28	1	0
P ₉	-1	2418	347.06	0	0	0	-1	0	-173.53	0	1
P ₃	0	0	-1	0	1	0	0	-1	1	0	0
P ₂	0	0	-1	1	0	0	0	0	1	0	0
Z		-4836	-419.34	0	0	1	1	-71.28	246.81	0	0

Tabla 4			0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1
Base	C _b	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉
P ₈	-1	1914.4183714631	0	0	0	-1	0.20826370080101	72.28	-36.14	1	-0.20826370080101
P ₁	0	6.9670950267965	1	0	0	0	-0.0028813461649283	0	-0.5	0	0.0028813461649283
P ₃	0	6.9670950267965	0	0	1	0	-0.0028813461649283	-1	0.5	0	0.0028813461649283
P ₂	0	6.9670950267965	0	1	0	0	-0.0028813461649283	0	0.5	0	0.0028813461649283
Z		-1914.4183714631	0	0	0	1	-0.20826370080102	-71.28	37.14	0	1.208263700801

Tabla 5			0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1
Base	C _b	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉
P ₆	-1	26.486142383275	0	0	0	-0.013835085777532	0.0028813461649283	1	-0.5	0.013835085777532	-0.0028813461649283
P ₁	0	6.9670950267965	1	0	0	0	-0.0028813461649283	0	-0.5	0	0.0028813461649283
P ₃	0	33.453237410072	0	0	1	-0.013835085777532	0	0	0	0.013835085777532	0
P ₂	0	6.9670950267965	0	1	0	0	-0.0028813461649283	0	0.5	0	0.0028813461649283
Z		-26.486142383276	0	0	0	0.01383508577753	-0.00288134616494	0	1.5	0.98616491422247	1.0028813461649

Tabla 6			-58	-58	-60	0	0
Base	C _b	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
P ₅	0	9192.2805755396	0	0	0	-4.8016048699502	1
P ₁	-58	33.453237410072	1	0	0	-0.013835085777532	0
P ₃	-60	33.453237410072	0	0	1	-0.013835085777532	0
P ₂	-58	33.453237410072	0	1	0	-0.013835085777532	0
Z		-5887.7697841727	0	0	0	2.4349750968456	0

La solución óptima es $Z = 5887.7697841727$
 $X_1 = 33.453237410072$
 $X_2 = 33.453237410072$
 $X_3 = 33.453237410072$

4.2.1.3.Carga

La función objetivo para la carga se plantea en base a los costos horarios de cada equipo

(Excavadoras Caterpillar 320 BL), utilizados para el desarrollo de esta actividad como se puede visualizar en la tabla 4.8.

Para el desarrollo de las actividades de carga de la misma manera se tiene dos propuestas, la primera utiliza un solo equipo que trabajara 13,28 horas, por un valor de USD\$770,09, cumpliendo con una producción de 2297 metros cúbicos mensuales.

Tabla 4.8:Método simplex aplicado en la carga cuando se tiene producción alta

	UN EQUIPO	DOS EQUIPOS
Función objetivo	$Z = 58 X_1 + 58 X_2$	
Restricción 1	$173,53X_1 + 173,53X_2 \geq 2297$	$173,53X_1 + 173,53X_2 \geq 2297$
Restricción 2		$x_1 - x_2 = 0$
Solución	$X_1 = 13.28$	$X_1 = 6.618$
	$X_2 = 0$	$X_2 = 6.618$
	$S_1 = 0$	$S_1 = 0$
	$A_1 = 0$	$A_1 = 0$
	$Z = 770.09$	$Z = 767.74$

Problema Lineal

Objetivo: Maximizar Minimizar:

Número de variables:

Número de Restricciones:

	X ₁	X ₂	
Min Z =	58	58	
Restricción 1	173,53	+173,5	>= 2297

Min Z = 58X₁ + 58X₂
Sujeto a:
 $173,53X_1 + 173,5X_2 \geq 2297$
 $X_i \geq 0$

X_i = Variables de decisión
 S_i = Variables de holgura o superávit
 A_i = Variables artificiales

Variable que entra: X_1

Variable que sale: A_1

Figura 4.4: Función objetivo para carga utilizando una excavadora, cuando se tiene producción alta

Fuente: <http://ingenieria-industrial.net/software/jsimplex>

Tabla 4.9: Resolución función objetivo para carga utilizando una excavadora, cuando se tiene producción alta

	Min Z =	58	58	0	1M		
Coef	Base	X_1	X_2	S_1	A_1	R.H.S	Theta
1M	A_1	173	173	-1	1	2297	13.28
	Z	173M	173M	-1M	M	2297M	
	$C_j - Z_j$	-173M + 58	-173M + 58	M	0		

Gauss-Jordan: Fila Pivote	1.7e+2	1.7e+2	-1.0	1.0	2.3e+3
Fila Pivote convertida	1.0	1.0	-0.0058	0.0058	13

	Min Z =	58	58	0	1M		
Coef	Base	X_1	X_2	S_1	A_1	R.H.S	Theta
58	X_1	1	1	-0.01	0.01	13.28	13.28
	Z	58	58	-0.34	0.34	770.09	
	$C_j - Z_j$	0	0	0.34	M-0.34		

SOLUCIÓN

$$X_1 = 13.28$$

$$X_2 = 0$$

$$S_1 = 0$$

$$A_1 = 0$$

$$Z = 770.09$$

Fuente: <http://ingenieria-industrial.net/software/jsimplex>

La segunda plantea la opción donde se requiere de dos equipos que trabajaran cada uno 6,61 horas, por un costo de USD\$767,74.

Tabla 4.10: Resolución función objetivo para carga utilizando dos equipos, cuando se tiene una producción alta

Tabla 2			0	0	0	-1	-1
Base	C_b	P₀	P₁	P₂	P₃	P₄	P₅
P ₅	-1	2297	347.06	0	-1	-173.53	1
P ₂	0	0	-1	1	0	1	0
Z		-2297	-347.06	0	1	174.53	0

Tabla 1			0	0	0	-1	-1
Base	C_b	P₀	P₁	P₂	P₃	P₄	P₅
P ₅	-1	2297	173.53	173.53	-1	0	1
P ₄	-1	0	-1	1	0	1	0
Z		-2297	-172.53	-174.53	1	0	0

Tabla 3			0	0	0	-1	-1
Base	C_b	P₀	P₁	P₂	P₃	P₄	P₅
P ₁	0	6.6184521408402	1	0	-0.0028813461649283	-0.5	0.0028813461649283
P ₂	0	6.6184521408402	0	1	-0.0028813461649283	0.5	0.0028813461649283
Z		0	0	0	0	1	1

Tabla 4			-58	-58	0
Base	C_b	P₀	P₁	P₂	P₃
P ₁	-58	6.6184521408402	1	0	-0.0028813461649283
P ₂	-58	6.6184521408402	0	1	-0.0028813461649283
Z		-767.74044833746	0	0	0.33423615513168

La solución óptima es $Z = 767.74044833746$
 $X_1 = 6.6184521408402$
 $X_2 = 6.6184521408402$

4.2.1.4. Transporte

La función objetivo para el transporte se plantea en base a los costos horarios de cada volquete, para el desarrollo de esta actividad como se puede visualizar en la tabla 4.11.

Tomando en cuenta que en el Área Minera “María” se trabaja con seis volquetes para transportar el material de interés desde la mina hasta al patio de stock, se plantea una función objetivo condicionada por la producción y costo horario

Tabla 4.11: Método simplex aplicado para transporte con producción alta

Función objetivo	$Z = 50,12X_4 + 52,74X_5 + 40,14X_6 + 41,29X_7 + 52,86X_8 + 60,32X_9$
Restricción 1	$11,7X_4 + 12,31X_5 + 9,37X_6 + 9,64X_7 + 12,34X_8 + 14,08X_9 \geq 2297$
Restricción 2	$X_4 - X_5 = 0$
Restricción 3	$X_5 - X_6 = 1$
Restricción 4	$X_6 - X_7 = 0$
Restricción 5	$X_7 - X_8 = 0$
Restricción 6	$X_8 - X_9 = 0$
Solución	$X_4 = 5,51$
	$X_5 = 5,51$

Problema Lineal

Objetivo: Maximizar Minimizar:

Número de variables:

Número de Restricciones:

$$\text{Min } Z = 50,12X_1 + 52,74X_2 + 40,14X_3 + 41,29X_4 + 52,86X_5 + 60,32X_6$$

Sujeto a:

$$11,7X_1 + 12,31X_2 + 9,37X_3 + 9,64X_4 + 12,34X_5 + 14,08X_6 \geq 2297$$

$$X_1 - X_2 = 0$$

$$+X_2 - X_3 = 0$$

$$+X_3 - X_4 = 0$$

$$+X_4 - X_5 = 0$$

$$+X_5 - X_6 = 0$$

$$X_i \geq 0$$

Gauss-Jordan:Fila Pivote	11	12	9.0	9.0	12	14	-1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3e+3
Fila Pivote convertida	0.79	0.86	0.64	0.64	0.86	1.0	-0.071	0.071	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6e+2
Restricción 2	1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fila pivote * 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nueva restricción 2	1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Restricción 3	0.0	1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fila pivote * 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nueva restricción 3	0.0	1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Restricción 4	0.0	0.0	1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fila pivote * 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nueva restricción 4	0.0	0.0	1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Restricción 5	0.0	0.0	0.0	1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fila pivote * 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nueva restricción 5	0.0	0.0	0.0	1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Restricción 6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
Fila pivote * 1.0	0.79	0.86	0.64	0.64	0.86	1.0	-0.071	0.071	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6e+2
Nueva restricción 6	0.79	0.86	0.64	0.64	1.9	0.0	-0.071	0.071	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.6e+2

Variable que entra: X_1

Variable que sale: A_6

	Min Z =	50	52	40	41	52	60	0	1M	1M	1M	1M	1M	1M		
Coef	Base	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	S_1	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	R.H.S	Theta
60	X_6	0.79	0.86	0.64	0.64	0.86	1	-0.07	0.07	0	0	0	0	0	164.07	208.82
1M	A_2	1	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-
1M	A_3	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-
1M	A_4	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-
1M	A_5	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-
1M	A_6	0.79	0.86	0.64	0.64	1.86	0	-0.07	0.07	0	0	0	0	1	164.07	208.82
Z		1.79M + 47.14	0.86M + 51.43	0.64M + 38.57	0.64M + 38.57	0.86M + 51.43	60	-0.07M-4.29	0.07M + 4.29	M	M	M	M	M	164.07M + 9844.29	
$C_j - Z_j$		-1.79M + 2.86	-0.86M + 0.57	-0.64M + 1.43	-0.64M + 2.43	-0.86M + 0.57	0	0.07M + 4.29	0.93M-4.29	0	0	0	0	0		

Gauss-Jordan:Fila Pivote	0.79	0.88	0.64	0.64	1.9	0.0	-0.071	0.071	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.8e+2
Fila Pivote convertida	1.0	1.1	0.82	0.82	2.4	0.0	-0.091	0.091	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	2.1e+2
Restricción 1	0.79	0.88	0.64	0.64	0.88	1.0	-0.071	0.071	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8e+2
Fila pivote * -0.79	-0.79	-0.88	-0.64	-0.64	-1.9	0.0	0.071	-0.071	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	-1.8e+2
Nueva restricción 1	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	0.0
Restricción 2	1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fila pivote * -1.0	-1.0	-1.1	-0.82	-0.82	-2.4	0.0	0.091	-0.091	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.3	-2.1e+2
Nueva restricción 2	0.0	-2.1	-0.82	-0.82	-2.4	0.0	0.091	-0.091	1.0	0.0	0.0	0.0	-1.3	-2.1e+2
Restricción 3	0.0	1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fila pivote * 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nueva restricción 3	0.0	1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Restricción 4	0.0	0.0	1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
Fila pivote * 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nueva restricción 4	0.0	0.0	1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
Restricción 5	0.0	0.0	0.0	1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
Fila pivote * 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nueva restricción 5	0.0	0.0	0.0	1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0

Fuete: <http://ingenieria-industrial.net/software/jsimplx>

Como anteriormente se mencionó para tener una solución óptima se necesita que los equipos trabajen en los mismos tiempos para realizar cada actividad, por consiguiente:

Solución 1 =X4=0 X5=33,0789 X6=0 X7=0 X8=0 X9=0

$$Z= 1639.12$$

Solución 2 = X4=5.51 X5=5.51 X6=5.51 X7=5.51 X8=5.51 X9=5,51

$$Z=1639.12$$

En la siguiente tabla se resume los procesos y variantes que se realizan para mejorar la extracción de caolín y feldespato, aproximando los costos que conllevaran cada uno de ellos.

Tabla 4.13:Variantes del proceso de extracción de caolín y feldespato para una alta producción

ACTIVIDAD	VARIANTE		EQUIPO REQUERIDO	TIEMPO DE OPERACIÓN (h)	COSTO DE PRODUCCIÓN (USD \$)
ARRANQUE	1		Excavadora Caterpillar 320 BL #10	13,98	810,66
	2		Excavadora Caterpillar 320 BL #10	6,96	807,36
ACARREO	1	1	Excavadora Caterpillar 320 BL #11	33,45	3990,15
		1	Tractor Caterpillar D6	33,45	
	2	2	Excavadora Caterpillar 320 BL #10	33,45	5887,77
		1	Tractor Caterpillar D6	33,45	
CARGA	1		Excavadora Caterpillar 320 BL #10	13,28	770,09
	2		Excavadora Caterpillar 320 BL #10	6,61	767,74
TRANSPORTE	6		Volquete	5,51	1639,12

El costo mensual de producción requerido para la extracción de 2297 m³ de caolín y feldespato en el caso de una producción alta es de USD\$ 7204,37 que se necesitan para llevar a cabo todas las actividades que se desarrollan en el área minera.

Para la optimización se tomó en cuenta la variable que mejor se ajusten a cubrir todas las necesidades de la mina, reduciendo los costos de producción tomando en cuenta el dimensionamiento de la maquinaria, disponibilidad, tiempos de operación y costos de producción.

4.2.2. Diseño del proyecto para una producción baja

El segundo diseño consiste en el planteamiento de una función objetivo donde se minimice costos de producción cuando la producción de caolín y feldespatos es baja, llegando a tener una producción mensual de 1969 m³ cumpliendo con la producción anual requerida de 23622 m³, tal y como se puede observar en la tabla 4.14.

La función objetivo que se plantea modificará las horas de trabajo de la maquinaria en cada una de las actividades que se desarrollan en el área minera, reduciendo costos, cumpliendo con la producción mensual requerida y optimizando cada una de estas actividades.

Se parte del análisis de la extracción actual de caolín y feldespatos, en donde se toma en cuenta los equipos que intervienen y el resultado que se obtiene al modificar las variables, por consiguiente, se escogerá la alternativa que menor tiempo y costo presente.

Tabla 4.14:Costos de producción, resumen con baja producción.

Producción (m³)	Volquete GKR060	Volquete GCF075	Volquete LCD0933	Volquete KBA0629	Volquete LBB4114	Volquete AAW352	Tractor Caterpillar D6	Excavadora Caterpillar 320 BL #11	Excavadora Caterpillar 320 BL #10	EQUIPO	ACTIVIDAD
2067								173,53	173,53	ARRANQUE (m³)	
2067							72,28	173,53	173,53	ACARREO (m³)	
1969								173,53	173,53	CARGA (m³)	
1969	14,08	12,34	9,64	9,37	12,31	11,7				TRANSPORTE (m³)	
	60,319	52,8646	41,2978	40,1411	52,736	50,1228	60	58	58	COSTO HORARIO (USD \$)	
	X9	X8	X7	X6	X5	X4	X3	X2	X1	VARIABLES	

Para el planteamiento de la función objetivo se asigna una variable para cada equipo asociando sus costos horarios, lo que permite reducir al máximo los valores hallando los tiempos óptimos de operación. Las restricciones se plantean en base a los rendimientos limitándose con respecto a la producción requerida, el procedimiento será más o menos el mismo con respecto al anterior variando en la producción.

4.2.2.1. Arranque:

La función objetivo para el arranque se plantea en base a los costos horarios de cada excavadora, que son los equipos utilizados para el desarrollo de esta actividad (tabla 4.15)

Tabla 4.15: Método Simplex aplicado en arranque cuando se tiene producción baja con un equipo.

Función objetivo	UN EQUIPO
Restricción 1	$Z = 58 X_1 + 58 X_2$
Restricción 2	$173,53 X_1 + 173,53 X_2 \geq 2067$
Solución	
Solución	$X_1 = 11,95$
	$X_2 = 0$
	$S_1 = 0$
	$A_1 = 0$

Para el arranque con baja producción de la misma forma se plantean dos soluciones que cumplan la producción requerida de 2067 m³; la primera utiliza una sola Excavadora Caterpillar 320 BL que trabajara 11,95 horas por un valor de USD\$ 692,98. Tabla 4.17.

Tabla 4.16: Método Simplex aplicado en arranque cuando se tiene producción baja con dos equipos.

Función objetivo	DOS EQUIPOS
Restricción 1	$Z = 58 X_1 + 58 X_2$
Restricción 2	$173,53 X_1 + 173,53 X_2 \geq 2067$
Solución	$x_1 - x_2 = 0$
Solución	$X_1 = 5.9557$
	$X_2 = 5.9557$
	$S_1 = 0$
	$A_1 = 0$

Problema Lineal

Objetivo: Maximizar Minimizar:

Número de variables:

Número de Restricciones:

	X ₁	X ₂		
Min Z =	58	58		
Restricción 1	173,53	173,53	>=	2067

Min Z = 58X₁ + 58X₂
 Sujeto a:
 $173,53X_1 + 173,53X_2 \geq 2067$
 $X_i \geq 0$

Min Z = 58X₁ + 58X₂ + 0S₁ + 1MA₁
 Sujeto a:
 $173X_1 + 173X_2 - 1S_1 + 1A_1 = 2067$
 $X_i \geq 0$

X_i = Variables de decisión
 S_i = Variables de holgura o superávit
 A_i = Variables artificiales

Variable que entra: X_1
 Variable que sale: A_1

Figura 4.6: Función objetivo para el arranque utilizando una excavadora, con producción baja

Fuente: <http://ingenieria-industrial.net/software/jsimplex>

Tabla 4.17: Resolución de función objetivo para el arranque, con producción baja

	Min Z =	58	58	0	1M		
Coef	Base	X ₁	X ₂	S ₁	A ₁	R.H.S	Theta
1M	A ₁	173	173	-1	1	2067	11.95
	Z	173M	173M	-1M	M	2067M	
	C _j -Z _j	-173M + 58	-173M + 58	M	0		

Gauss-Jordan:Fila Pivote	1.7e+2	1.7e+2	-1.0	1.0	2.1e+3
Fila Pivote convertida	1.0	1.0	-0.0058	0.0058	12

	Min Z =	58	58	0	1M		
Coef	Base	X ₁	X ₂	S ₁	A ₁	R.H.S	Theta
58	X ₁	1	1	-0.01	0.01	11.95	11.95
	Z	58	58	-0.34	0.34	692.98	
	C _i -Z _i	0	0	0.34	M-0.34		

SOLUCIÓN

$$X_1 = 11.95$$

$$X_2 = 0$$

$$S_1 = 0$$

$$A_1 = 0$$

$$Z = 692.98$$

Fuente: <http://ingenieria-industrial.net/software/jsimplex>

La segunda opción plantea utilizar dos equipos los cuales trabajaran durante 5,96 horas, por un costo de USD\$ 690,86. Tabla 4.18.

$$\text{MINIMIZAR: } Z = 58 X_1 + 58 X_2$$

sujeto a

$$173,53 X_1 + 173,53 X_2 \geq 2067$$

$$1 X_1 - 1 X_2 = 0$$

$$X_1, X_2 \geq 0$$

Figura 4.7: Función objetivo para el arranque con dos equipos, para producción baja

Fuente: <http://www.phpsimplex.com/simplex/page7.php?f=0&l=es>

Tabla 4.18: Resolución función objetivo para el arranque con dos equipos, para producción baja

Tabla 1			0	0	0	-1	-1
Base	C _b	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
P ₅	-1	2067	173.53	173.53	-1	0	1
P ₄	-1	0	-1	1	0	1	0
Z		-2067	-172.53	-174.53	1	0	0

Tabla 2			0	0	0	-1	-1
Base	C _b	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
P ₅	-1	2067	347.06	0	-1	-173.53	1
P ₂	0	0	-1	1	0	1	0
Z		-2067	-347.06	0	1	174.53	0

Tabla 3			0	0	0	-1	-1
Base	C _b	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
P ₁	0	5.9557425229067	1	0	-0.0028813461649283	-0.5	0.0028813461649283
P ₂	0	5.9557425229067	0	1	-0.0028813461649283	0.5	0.0028813461649283
Z		0	0	0	0	1	1

Tabla 1			-58	-58	0
Base	C _b	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃
P ₁	-58	5.9557425229067	1	0	-0.0028813461649283
P ₂	-58	5.9557425229067	0	1	-0.0028813461649283
Z		-690.86613265718	0	0	0.33423615513168

La solución óptima es $Z = 690.866$:
 $X_1 = 5.9557425229067$
 $X_2 = 5.9557425229067$

Fuente: <http://www.phpsimplex.com/simplex/page7.php?f=0&l=es>

4.2.2.2. Acarreo

La función objetivo para el acarreo se plantea en base a los costos horarios de cada equipo (Excavadoras Caterpillar 320 BL, tractor D6), utilizados para el desarrollo de esta actividad como se puede visualizar en las tablas 4.19 y 4.20.

La solución indica que la excavadora Caterpillar 320 BL debe trabajar 11,95 horas y el tractor Caterpillar D6 28,71 horas, lo cual no es óptimo ya que los tiempos de los equipos deben ser iguales, por lo que el valor sería de USD\$2415,48.

Utilizado una excavadora.

Tabla 4.19: Método simplex aplicado para el acarreo utilizando una excavadora, con producción baja.

	UTILIZANDO UNA ESCAVADORAS
Función objetivo	$Z = 58 X_1 + 58 X_2 + 60 X_3$
Restricción 1	$72,28 X_3 \geq 2067$
Restricción 2	$173,53 X_1 + 173,53 X_2 \geq 2067$
Restricción 3	
Restricción 4	
Solución	$X_1 = 11,95$
	$X_2 = 0$
	$X_3 = 28,71$
	$Z = 2415,48$

Sin embargo, como se necesita una solución óptima en la que los equipos deben trabajar la misma cantidad de tiempo, entonces realizando las respectivas correcciones tendríamos:

Solución: $X_1 = 28,71$ $X_2 = 0$ $X_3 = 28,71$

$$Z = 3387,78$$

Utilizando dos excavadoras

Tabla 4.20: Método simplex aplicado para el acarreo utilizando dos excavadoras, con producción baja.

	UTILIZANDO DOS ESCAVADORAS
Función objetivo	$Z = 58 X_1 + 58 X_2 + 60 X_3$
Restricción 1	$72,28 X_3 \geq 2067$
Restricción 2	$173,53 X_1 + 173,53 X_2 \geq 2067$
Restricción 3	$X_1 - X_2 = 0$
Restricción 4	$-X_2 + X_3 = 0$
Solución	$Z = 5055$
	$X_1 = 28,72$
	$X_2 = 28,72$
	$X_3 = 28,72$

Al utilizar dos excavadoras Caterpillar 320 BL y el tractor Caterpillar D6 el tiempo que deben trabajar los equipos son 28,72 horas, por un costo de USD\$5055 cumpliendo con la producción de 2067 metros cúbicos.

4.2.2.3.Carga

La función objetivo para la carga se plantea en base a los costos horarios de cada equipo (Excavadoras Caterpillar 320 BL), utilizados para el desarrollo de esta actividad como se puede visualizar en las tablas 4.21 y 4.22.

Para el acarreo del material de interés con una sola cargadora Caterpillar320 BL se deberá trabajar 11,38 horas por un valor de 660,13 dólares.

Tabla 4.21: Método simplex aplicado para la carga con un solo equipo, con producción baja.

UN EQUIPO	
Función objetivo	$Z = 58 X_1 + 58 X_2$
Restricción 1	$173,53 X_1 + 173,53 X_2 \geq 1969$
Restricción 2	
Solución	$X_1 = 11.38$
	$X_2 = 0$
	$S_1 = 0$
	$A_1 = 0$
	$Z = 660.13$

Tabla 4.22: Método simplex aplicado para la carga con dos equipos, con producción baja.

DOS EQUIPO	
Función objetivo	$Z = 58 X_1 + 58 X_2$
Restricción 1	$173,53 X_1 + 173,53 X_2 \geq 1969$
Restricción 2	$x_1 - x_2 = 0$

De la misma forma para el acarreo del material de interés utilizando dos cargadoras Caterpillar320 BL, se deberá trabajar 5,67 horas con cada maquinaria, por un valor de 658,11 dólares, cumpliendo con la producción requerida.

4.2.2.4. Transporte

La función objetivo para el transporte se plantea en base a los costos horarios de cada volquete, para el desarrollo de esta actividad como se puede visualizar en la tabla 4.23.

Tabla 4.23: Método simplex aplicado para el transporte, con producción baja.

Función objetivo	$Z = 50,12X_4 + 52,74X_5 + 40,14X_6 + 41,29X_7 + 52,86X_8 + 60,32X_9$
Restricción 1	$11,7X_4 + 12,31X_5 + 9,37X_6 + 9,64X_7 + 12,34X_8 + 14,08X_9 \geq 1969$
Restricción 2	$X_4 - X_5 = 0$
Restricción 3	$X_5 - X_6 = 0$
Restricción 4	$X_6 - X_7 = 0$
Restricción 5	$X_7 - X_8 = 0$
Restricción 6	$X_8 - X_9 = 0$
Solución	$X_4 = 4,73$
	$X_5 = 4,73$
	$X_6 = 4,73$
	$X_7 = 4,73$
	$X_8 = 4,73$
	$X_9 = 4,73$
	$Z = 1405,81$

Para llevar a cabo las actividades de transporte se requiere una solución óptima, la cual requiere que los equipos trabajen en los mismos tiempos para realizar cada actividad, por consiguiente:

$$\text{Solución 1} = X_4=0 \quad X_5=28,36 \quad X_6=0 \quad X_7=0 \quad X_8=0 \quad X_9=0$$

$$Z = 1405,81$$

Como se mencionó anteriormente los equipos deben trabajar los mismos tiempos por entonces:

$$\text{Solución 2} = X_4=4,73 \quad X_5=4,73 \quad X_6=4,73 \quad X_7=4,73 \quad X_8=4,73 \quad X_9=4,73$$

$$Z = 1405,81$$

Al utilizar todos los volquetes deben trabajar 4,73 cada uno de los volquetes, por un costo total de USD\$ 1405,81.

En la tabla 4.24 se resume los procesos y variantes que se realizan para mejorar la extracción de caolín y feldespato para una producción baja, realizando una comparación con los resultados cuando se tiene producción alta.

Tabla 4.24:Variantes del proceso de extracción de caolín y feldespato para una baja producción

ACTIVIDAD	VARIANTE		EQUIPO REQUERIDO	TIEMPO DE OPERACIÓN (h)	COSTO DE PRODUCCIÓN (USD \$)
ARRANQUE	1		Excavadora Caterpillar 320 BL #10	11,95	692,98
	2		Excavadora Caterpillar 320 BL #10	5,95	690,86
ACARREO	1	1	Excavadora Caterpillar 320 BL #11	28,71	3387,78
		1	Tractor Caterpillar D6	28,71	
	2	2	Excavadora Caterpillar 320 BL #10	28,71	5055
		1	Tractor Caterpillar D6	28,71	
CARGA	1		Excavadora Caterpillar 320 BL #10	11,38	660,13
	2		Excavadora Caterpillar 320 BL #10	5,67	658,11
TRANSPORTE	6		VOLQUETES	9,11	1405,81

Dado el caso de que la producción sea baja y las actividades se desarrollen sin ningún contratiempo, el costo de producción para la extracción de 1969 metros cúbicos es de USD\$6141,65. Para la optimización del proceso de extracción se tomó en cuenta la variable que mejor se ajusten a cubrir todas las necesidades de la mina, reduciendo los costos de producción tomando en cuenta el dimensionamiento de la maquinaria, disponibilidad, tiempos de operación y costos de producción.

4.2.3. Análisis de las relaciones de las variables y cambios propuestos para la optimización

Para realizar el análisis de la relación de las variables y realizar los cambios propuestos para optimización de los procesos en el área minera, se parte desde la producción requerida,

planteándose dos situaciones, como son 1969 m³ cuando la producción es baja y 2297m³ cuando la producción es alta.

En el presente proyecto para realizar la optimización en cada una de las actividades se deberá elegir la variable más conveniente que será la que presente los más bajos costos y tiempos de operación.

En las tablas 4.25 y 4.26 se mostrarán las variaciones elegidas para cada una de las actividades, con sus respectivos equipos, tiempos de operación, costos y volúmenes requeridos.

Tabla 4.25: Resumen de alternativa más óptima para producción alta

ACTIVIDAD	EQUIPO	COSTO (USD \$)	TIEMPO (h)	VOLUMEN (m ³)
Arranque	Excavadora Caterpillar 320 BL #10	807,36	6,96	2418
	Excavadora Caterpillar 320 BL #11			
Acarreo	Excavadora Caterpillar 320 BL #10	3990,15	33,45	2418
	Tractor Caterpillar D6			
Carga	Excavadora Caterpillar 320 BL #10	767,74	33,45	2297
	Excavadora Caterpillar 320 BL #11			
Transporte	Volquete AAW352	1639,12	12,5	2297
	Volquete LBB4114			
	Volquete KBA0629			
	Volquete CD0933			
	Volquete GCF075			
	Volquete GKR060			
TOTAL		7204,37		

Al seleccionar las actividades más óptimas para la extracción de caolín y feldespato los costos mensuales se reducen a USD\$7204,37, este valor se reducirá aún más si se toman en cuenta los rendimientos óptimos de cada uno de los equipos, eliminando las pérdidas de tiempo.

Tabla 4.26: Resumen de alternativa más óptima para producción baja.

ACTIVIDAD	EQUIPO	COSTO (USD \$)	TIEMPO (h)	VOLUMEN (m ³)
Arranque	Excavadora Caterpillar 320 BL #10	690,86	5,95	2418
	Excavadora Caterpillar 320 BL #11			
Acarreo	Excavadora Caterpillar 320 BL #10	3387,78	28,71	2418
	Tractor Caterpillar D6			
Carga	Excavadora Caterpillar 320 BL #10	658,11	5,67	2297
	Excavadora Caterpillar 320 BL #11			
Transporte	Volquete AAW352	1405,81	9,11	2297
	Volquete LBB4114			
	Volquete KBA0629			
	Volquete LCD0933			
	Volquete GCF075			
	Volquete GKR060			
TOTAL		6142,56		

De la misma manera cuando se tiene una producción baja se escogió las opciones más óptimas dando un costo de USD\$6142,56, si se presentara algún imprevisto y se necesite reducir al máximo los costos, se tomará en cuenta los rendimientos óptimos de los equipos en donde se eliminarán las pérdidas de tiempo. La principal corrección que se debe realizar para tener una optimización de procesos en el área minera, es la reducción en la dimensión de la flota de equipos para cada una de las actividades de extracción de caolín y feldespatos eliminando las pérdidas de tiempo.

4.2.4. Modelo de optimización propuesto para los procesos de extracción de caolín y feldespatos.

El modelo que se propone a continuación en base a lo expuesto anteriormente reduce el número de equipos que desarrollan cada actividad, trabajando los tiempos que cubren la producción

mensual requerida, a continuación, en la tabla 4.27, se presentan la flota de equipos que se utilizarán para alta y baja producción.

Tabla 4.27: Resumen de flota de equipos

Actividad	Equipos Disponibles	Alta Producción	Baja Producción
ARRANQUE	Excavadora Caterpillar 320 BL #10	Excavadora Caterpillar 320 BL #10	Excavadora Caterpillar 320 BL #10
	Excavadora Caterpillar 320 BL #11	Excavadora Caterpillar 320 BL #11	Excavadora Caterpillar 320 BL #11
	Tractor Caterpillar D6		
	VOLQUETE AAW352		
	VOLQUETE LBB4114		
	VOLQUETE KBA0629		
	VOLQUETE LCD0933		
	VOLQUETE GCF075		
VOLQUETE GKR060			
ACARREO	Excavadora Caterpillar 320 BL #10	Excavadora Caterpillar 320 BL #11	Excavadora Caterpillar 320 BL #12
	Excavadora Caterpillar 320 BL #11		
	Tractor Caterpillar D6	Tractor Caterpillar D7	Tractor Caterpillar D8
	Volquete AAW353		
	Volquete LBB4115		
	Volquete KBA0630		
	Volquete LCD0934		
	Volquete E GCF076		
Volquete GKR061			
CARGA	Excavadora Caterpillar 320 BL #12	Excavadora Caterpillar 320 BL #12	Excavadora Caterpillar 320 BL #12
	Excavadora Caterpillar 320 BL #13	Excavadora Caterpillar 320 BL #13	Excavadora Caterpillar 320 BL #13
	Tractor Caterpillar D7		
	Volquete AAW353		
	Volquete LBB4115		
	Volquete KBA0630		
	Volquete LCD0934		
	Volquete E GCF076		
Volquete GKR061			
TRANSPORTE	Excavadora Caterpillar 320 BL #14		
	Excavadora Caterpillar 320 BL #15		
	Tractor Caterpillar D8		
	Volquete AAW353	Volquete AAW353	Volquete AAW353
	Volquete LBB4115	Volquete LBB4115	Volquete LBB4115
	Volquete KBA0630	Volquete KBA0630	Volquete KBA0630
	Volquete LCD0934	Volquete LCD0934	Volquete LCD0934
	Volquete E GCF076	Volquete E GCF076	Volquete E GCF076
Volquete GKR061	Volquete GKR061	Volquete GKR061	

Aplicando este modelo de optimización en el área minera “María” se podrá mejorar varios aspectos de cada una de las actividades que se llevan a cabo, como son:

- Reducción casi a cero de pérdidas de tiempo, en el cambio de actividades.
- El número de equipos para el acarreo se redujo, solo se utilizará una retroexcavadora y el tractor, ya no las 2 retroexcavadoras como actualmente se está trabajando.
- Los tiempos de operación de los equipos que desarrollan todas las actividades que conllevan la extracción de caolín y feldespato, se reducen en un 40% al tiempo actual que se utiliza.
- Los volquetes que trabajan en el área cumplen una misma jornada, lo que hace que el costo en el transporte se reduzca.
- Tomando como base las modificaciones se puede calcular un nuevo costo de producción, para cada una de las actividades, considerando las variables seleccionadas, utilizando los rendimientos óptimos.

Tabla 4.28: Tiempos y costos de producción óptimos, para producción alta.

ACTIVIDAD	EQUIPO	RENDIMIENTO OPTIMO (m ³ /h)	FUNCION OBJETIVO	TIEMPO (h)	COSTO DE PRODUCCION (USD \$)
Arranque	Excavadora Caterpillar 320 BL #10	219,618	$Z = 58 X_1 + 58 X_2$ Restricción1. $219,618 X_1 + 219,61 X_2 \geq 2418$ Retriccion2. $x_1 - x_2 = 0$ Solución: $Z = 638,58$ $X_1 = 5,50$ $X_2 = 5,50$	5,5	638,58
	Excavadora Caterpillar 320 BL #11	219,618		5,5	
Acarreo	Tractor Caterpillar D6	89,676	$Z = 58 X_1 + 58 X_2 + 60 X_3$ Restricción1. $89,68 X_3 \geq 2418$ Retriccion2. $219,62 X_1 + 219,62 X_2 \geq 2418$ Solución: $Z = 3186$ $X_1 = 27$ $X_3 = 27$	27	3186
	Excavadora Caterpillar 320 BL #10	219,618		27	
Carga	Excavadora Caterpillar 320 BL #10	219,618	$Z = 58 X_1 + 58 X_2$ Restricción1. $219,62 X_1 + 219,62 X_2 \geq 2418$ Retriccion2. $x_1 - x_2 = 0$ Solución: $Z = 617,14$ $X_1 = 5,23$ $X_3 = 5,23$	5,23	617,14
	Excavadora Caterpillar 320 BL #11	219,618		5,23	
Transporte-saquea	Volquete AAW352	11,3	$Z =$ $50,12 X_4 + 52,74 X_5 + 40,14 X_6 + 41,29 X_7 + 52,86 X_8 + 60,32 X_9$ Restricción1. $11,3 X_4 + 12,1 X_5 + 11,5 X_6 + 9 X_7 + 11,3 X_8 + 13,5 X_9 \geq 2297$ Restricción2. $X_4 - X_5 = 0$ Restricción3. $X_5 - X_6 = 0$ Restricción4. $X_6 - X_7 = 0$ Restricción5. $X_7 - X_8 = 0$ Restricción6. $X_8 - X_9 = 0$ Solución: $Z = 1636,15$ $X_1 = 5,5$ $X_3 = 5,5$	5,5	1636,15
	Volquete LBB4114	12,1		5,5	
	Volquete KBA0629	11,5		5,5	
	Volquete LCD0933	9,0		5,5	
	Volquete GCF075	11,3		5,5	
	Volquete GKR060	13,5		5,5	
TOTAL (USD \$)					6077,87

Tabla 4.29: Tiempos y costos de producción óptimos, para producción baja.

ACTIVIDAD	EQUIPO	RENDIMIENTO OPTIMO (m ³ /h)	FUNCION OBJETIVO	TIEMPO (h)	COSTO DE PRODUCCION (USD \$)
Arranque	Excavadora Caterpillar 320 BL #10	219,618	$Z = 58 X_1 + 58 X_2$ Restricción1. $219,618 X_1 + 219,61 X_2 \geq 2067$ Retriccion2. $x_1 - x_2 = 0$ Solución: $Z = 545.88$ $X_1 = 4.7$ $X_2 = 4.7$	4,7	545,88
	Excavadora Caterpillar 320 BL #11	219,618		4,7	
Acarreo	Tractor Caterpillar D6	89,676	$Z = 58 X_1 + 58 X_2 + 60 X_3$ Restricción1. $89,68 X_3 \geq 2067$ Retriccion2. $219,62 X_1 + 219,62 X_2 \geq 2067$ Solución: $Z = 2719.9$ $X_1 = 23.05$ $X_3 = 23.05$	23,05	2719,9
	Excavadora Caterpillar 320 BL #10	219,618		23,05	
Carga	Excavadora Caterpillar 320 BL #10	219,618	$Z = 58 X_1 + 58 X_2$ Restricción1. $219,62 X_1 + 219,62 X_2 \geq 1969$ Retriccion2. $x_1 - x_2 = 0$ Solución: $Z = 520$ $X_1 = 4.48$ $X_3 = 4.48$	4,48	520
	Excavadora Caterpillar 320 BL #11	219,618		4,48	
Transporte-saquea	Volquete AAW352	11,25	$Z = 50,12 X_4 + 52,74 X_5 + 40,14 X_6 + 41,29 X_7 + 52,86 X_8 + 60,32 X_9$ Restricción1. $11,3 X_4 + 12,1 X_5 + 11,5 X_6 + 9 X_7 + 11,3 X_8 + 13,5 X_9 \geq 1969$ Restricción2. $X_4 - X_5 = 0$ Restricción3. $X_5 - X_6 = 0$ Restricción4. $X_6 - X_7 = 0$ Restricción5. $X_7 - X_8 = 0$ Restricción6. $X_8 - X_9 = 0$ Solución: $Z = 1405,9$ $X_4 = 4.73$ $X_5 = 4.73$ $X_6 = 4.73$ $X_7 = 4.73$ $X_8 = 4.73$ $X_9 = 4.73$	4,73	1405,9
	Volquete LBB4114	12,114		4,73	
	Volquete KBA0629	11,52		4,73	
	Volquete LCD0933	9		4,73	
	Volquete GCF075	11,349		4,73	
	Volquete GKR060	13,5		4,73	
TOTAL(USD \$)			5191,68		

Al realizar el análisis de todos los datos expuestos anteriormente se puede llegar a establecer el modelo de optimización, ya que actualmente en el área minera se trabaja con la misma flota de maquinaria cuando se tiene producción baja o producción alta, lo cual genera una inversión fija, por lo que resulta más conveniente tomar las medidas correctivas en cada caso.

Realizando las comparaciones correspondientes con el modelo actual y el modelo de optimización propuesto se podrá ver las diferencias. (tabla 4.30)

Tabla 4.30: Comparación de resultados

Modelo	Costo de producción con alta producción (USD \$)	Costo de producción con baja producción (USD \$)
Actual	7204,37	6142,56
Optimizado	6077,87	5191,68
Diferencia entre el modelo actual y optimizado	1126,5	950,88

Como se puede apreciar si se realizan todos los correctivos sugeridos se puede generar un ahorro de USD\$1126,5 mensuales en el caso de tener una producción alta creando un ahorro anual de USD\$13518, de la misma manera cuando se tiene baja producción se generaría un ahorro de USD\$950,88 mensualmente lo cual representaría USD\$11410,56 anuales.

Bajo el modelo de optimización propuesto para el Área Minera María, se trabajará con 2 Excavadora Caterpillar 320 BL, Tractor Caterpillar D8, 6 volquetes Hino.

CAPÍTULO V

5. IMPACTO DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE EXTRACCIÓN DE CAOLÍN Y FELDESPATO

5.1. Análisis de resultados.

El presente proyecto a más de reducir los costos de producción, disminuye los tiempos de trabajo de los equipos, lo que incrementará la vida útil de los mismos, variando sus costos de mantenimiento. Esta disminución se lo puede observar en las figuras 5.1 y 5.2.

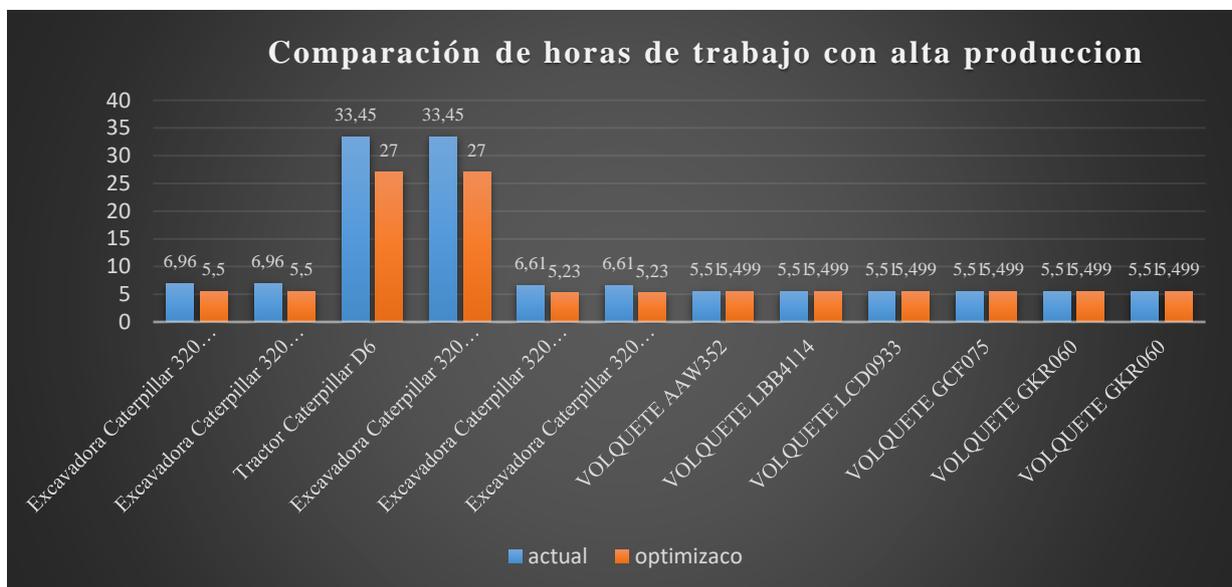


Figura 5.1: Comparación de horas de trabajo con alta producción

Con este análisis se puede apreciar las actividades de cada proceso que conllevan mayores costos, con lo que se podrá realizar posteriores estudios.

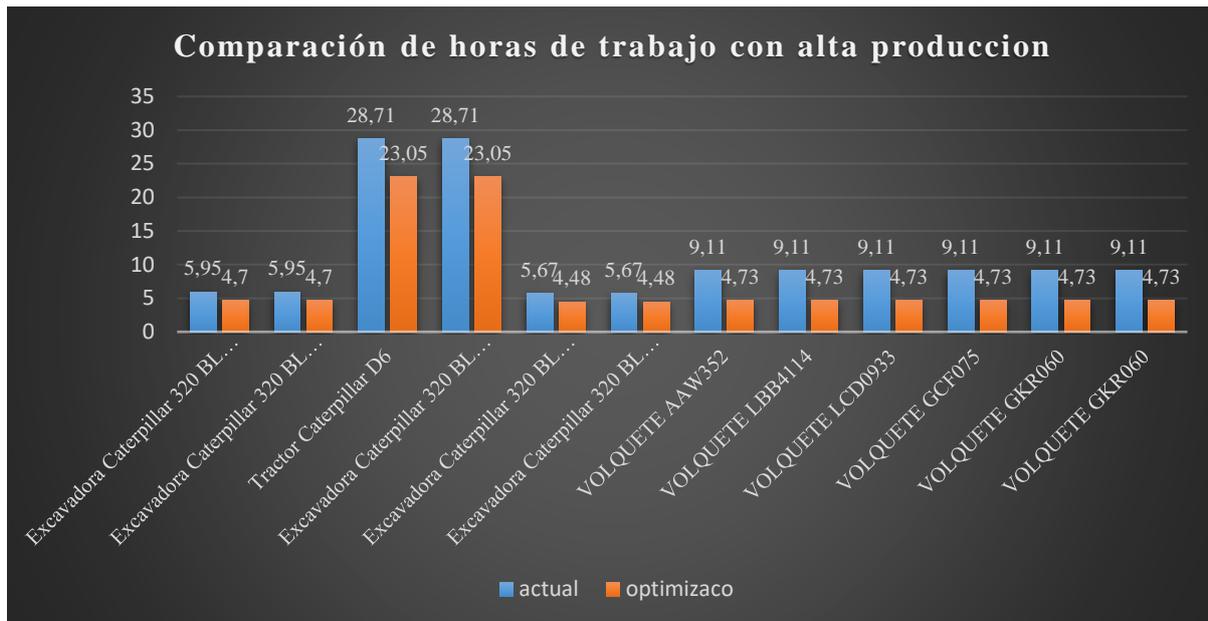


Figura 5.2:Comparativo de horas de trabajo con baja producción

La mayor cantidad de horas de trabajo se presenta en el acarreo, lo cual genera un mayor costo de producción.

5.2. Análisis de resultados e impacto del proyecto desde el punto de vista técnico.

El impacto del modelo de optimización desde el punto de vista técnico es la reducción de costos de cada uno de los procesos que se desarrollan en el área minera, permitiendo establecer las actividades más convenientes para desarrollar los mismos de forma que se asigne los equipos adecuados de una mejor manera para la extracción.

Otro de los impactos desde el punto de vista técnico, es la correcta implementación de los equipos que permitirán tener material con la granulometría adecuada para la carga y transporte lo que generará una correcta planificación de las actividades de extracción que ayuda al cumplimiento del plan de minado de caolín y feldespatos.

5.2.1. Impacto económico.

El principal impacto desde el punto de vista económico es la reducción de costos de operación en el Área Minera "María", cumpliendo con la producción requerida por la empresa, ya sea

cuando se tiene alta o baja producción no se dejará de abastecer a la planta del grupo empresarial GRAIMAN.

Se puede constatar que al utilizar un modelo de optimización adecuado se puede ahorrar USD\$ 1126,5 mensuales, dinero que podrá ser utilizado para posteriores proyectos de la empresa, como es la adquisición de un martillo hidráulico adaptable a las retroexcavadoras, que será utilizado para el minado del feldespatos que presenta una dureza mayor al del caolín.

5.2.2. Impactos positivos y negativos del proyecto.

Negativos:

- Reducción de la vida útil de los equipos.

Positivos:

- Costos de producción más bajos.
- Distribución óptima de maquinaria para cada actividad.
- Reducción en la flota de equipos de trabajo para el desarrollo diario en el área minera.
- Aumento de producción con respecto a la situación actual.
- Reducción de pérdidas de tiempo en cada uno de los procesos.
- Eliminación de equipos innecesarios.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.

- Al implementar la propuesta de optimización se reducen costos de producción, asignando la cantidad exacta de equipos para cada una de las actividades, que cumplen cada uno de los procesos, así mismo se disminuyen las pérdidas de tiempo.
- El arranque de caolín y feldespatos que se realiza en cada frente se debe realizar con dos excavadores Caterpillar 320 BL, empleando 5,5 horas a un costo de USD\$ 638,58 cuando se tiene alta producción, de la misma forma cuando se tiene baja producción estos dos equipos trabajarán 4,7 horas a un costo de USD\$ 545,88.
- El acarreo se lo realizará con una Excavadora Caterpillar 320 BL y un Tractor Caterpillar D6, los cuales serán utilizados tanto para producciones altas y bajas, donde se emplearán 27 horas a un costo de USD\$ 3186 y 23,05 horas a un costo de USD\$ 2719,9 respectivamente.
- Las actividades de carga se realizarán mediante la implementación de dos excavadores Caterpillar 320 BL, que emplearán 5,23 horas a un costo de USD\$ 617,14 en alta producción, y 4,48 horas por un costo de USD\$ 520 al tener baja producción.
- En cuanto a lo que tiene que ver con el transporte se tiene disponibles seis volquetes que trabajarán regularmente ya sea cuando se tiene producción alta o producción baja, trabajando 5,5 horas cada uno generando un costo de USD\$ 1636,15 con alta producción, de la misma forma cuando se tenga producción baja trabajarán 4,73 horas lo cual generará un costo de USD\$ 1405,9.

Recomendaciones.

- Emplear solo los equipos propuestos en el modelo de optimización para cada actividad que se desarrolla en cada uno de los procesos que conllevan la extracción.
- Definir horarios de trabajo para cada actividad, evitando pérdidas de tiempo o tiempos muertos.
- Establecer un plan mensual de minado en el área, fijando un numero específico de equipos para cada proceso.
- Llevar un control periódico y registro de los rendimientos de cada equipo que participan en los procesos de extracción de caolín y feldespató, para de esta forma generar una base de datos en la que se pueda definir, las zonas o áreas donde las maquinarias presentan mayores rendimientos.

BIBLIOGRAFIA

- Bellotti, M. L. (2011). Minería a cielo abierto versus glaciares en alerta roja en Argentina. *Revista de Derecho de Daños (Rubinzal-Culzoni Editores)*, 2011(1), 391-437.
- Barragan, J. (2007). *Explotación a Cielo Abierto de Materiales de Construcción*.
- Bartolomé, J. F. (1997). El Caolín: composición, estructura, génesis y aplicaciones. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica Y Vidrio*, 36(1), 7–20.
- Bermeo Chiriboga, E. B. (2017). *Planeación minera para el diseño de explotación de la cantera de libre aprovechamiento de lastre Cochapamba código 10000164 del GAD Municipal del cantón Cuenca*. Universidad del Azuay.
- Foucault, A., & Raoult, J.-F. (1985). *Diccionario de geología*.
- García García, C. P. (1997). Algunos análisis físico-químicos para la identificación de los minerales componentes de una arcilla.
- Griem, W. (n.d.). *Apuntes Depósitos Minerales*.
- Herrera Herbert, J., & de Urbina, F. (2006). *Métodos de minería a cielo abierto*. Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas.
- CATERPILLAR, *Manual de rendimiento 39° Edición Enero 2009*
- Mexicano, S. G. (2014). *Anuario estadístico de la minería mexicana 2013*. Servicio Geológico Mexicano, México DF.
- MINERO, S. N. D. A. S. C. N. (2001). *Métodos de explotación a cielo abierto*. SENA - Centro Nacional Minero.

Litherland, M., Bermudez, R., and Fortey, N., 1992. Las Ofiolitas de Peltetec y su significado en la Evolución Geológica del Ecuador. (*Peltetec ophiolite and its significance in the geological evolution of Ecuador*). Boletín Geológico Ecuatoriano, v. 3, No. 1, p. 43 -46

ANEXOS

Anexo 1:Gastos anuales

COSTOS	MESES												TOTAL
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	
ALIMENTACION	68,01	56,64	7,77	1,15	20,45	17,33	69,94	19,84	6,07	9,63	1,21	262,96	541,00
HONORARIOS	36,63	30,50	4,19	0,62	11,01	9,33	37,66	10,69	3,27	5,19	0,65	141,62	291,35
HONORARIOS	125,72	104,69	14,36	2,13	37,80	32,03	129,28	36,68	11,21	17,80	2,23	486,07	1000,00
ARRIENDOS	6506,33	5417,85	743,42	110,19	1956,01	1657,67	6690,38	1898,15	580,31	921,44	115,57	25155,27	51752,58
MANTENIM.Y REPARAC.VEHI	87,26	72,66	9,97	1,48	26,23	22,23	89,73	25,46	7,78	12,36	1,55	337,36	694,06
DONACIONES	336,24	279,99	38,42	5,69	101,08	85,67	345,75	98,09	29,99	47,62	5,97	1300,00	2674,52
MANTEN. Y REPARAC.EDIFI	7,29	6,07	0,83	0,12	2,19	1,86	7,50	2,13	0,65	1,03	0,13	28,19	58,00
UTILES DE OFICINA Y LIM	104,11	86,70	11,90	1,76	31,30	26,53	107,06	30,37	9,29	14,74	1,85	402,54	828,15
GASTOS DE VIAJE	6,83	5,69	0,78	0,12	2,05	1,74	7,03	1,99	0,61	0,97	0,12	26,42	54,36
TELEFONO Y COMUNICACION	112,07	93,32	12,81	1,90	33,69	28,55	115,24	32,70	10,00	15,87	1,99	433,31	891,45
IMPUESTOS MUNICIPALES	119,97	99,90	13,71	2,03	36,07	30,57	123,36	35,00	10,70	16,99	2,13	463,83	954,25
ALQUILER DE MAQUINARIA	12105,50	10080,32	1383,18	205,01	3639,31	3084,21	12447,94	3531,65	1079,71	1714,40	215,02	46803,24	96289,50
TOTAL	19615,97	16334,33	2241,33	332,21	5897,20	4997,72	20170,87	5722,75	1749,58	2778,04	348,43	75840,80	156029,22

Fuente: Datos brindados por la empresa

Anexo 2:Costos de producción (Alquiler de Maquinaria)

ESCAVADORAS					
	Caterpillar 320 BL #10		Caterpillar 320 BL #11		
	HORAS	COSTOS (USD\$)	HORAS	COSTOS (USD\$)	
ENERO	13	754	0	0	754
FEBRERO	0	0	0	0	0
MARZO	0	0	15,5	899	899
ABRIL	56	3248	36,5	2117	5365
MAYO	140,5	8149	161,5	9367	17516
JUNIO	147,5	136,5	136,5	7917	8053,5
JULIO	62	3596	67,5	3915	7511
AGOSTO	195	11310	61	3538	14848
SEPTIEMBRE	36,5	2117	0	0	2117
OCTUBRE	73	4234	0	0	4234
NOVIEMBRE	114,5	6641	0	0	6641
DICIEMBRE	119,5	6931	0	0	6931
TOTAL	957,5	47116,5	478,5	27753	74869,5
COSTO HORARIO	58				

TRACTOR D6		
	HORAS	COSTO (USD \$)
ENERO	0	0
FEBRERO	0	0
MARZO	45	2700
ABRIL	42,5	2550
MAYO	0	0
JUNIO	29,5	1770
JULIO	0	0
AGOSTO	112	6720
SEPTIEMBRE	0	0
OCTUBRE	51,5	3090
NOVIEMBRE	36,5	2190
DICIEMBRE	40	2400
TOTAL	357	21420
COSTO HORARIO (USD \$)	60	

FUENTE: Informes anuales Mina "María". Ing. Christian Quintuña (Datos brindados por la empresa)

Anexo 3: Producción mensual 2017

MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Producción(Ton)	3730,96	9821,7	5772,4	3487	11194	16194	4306	0,1	0,1	7721	8614	11736

Fuente: Informes anuales Mina "María". Ing. Christian Quintuña (Datos brindados por la empresa)

Anexo 4:Cálculo Rendimiento Excavadora M320

- Especificaciones excavadoras M320

Modelo	Excavadora CAT M320
Potencia	140hp
Capacidad del cucharón colmado	1,35 m ³
Velocidad máxima de desplazamiento	20 km/h
alquiler por hora	58 USD \$

El cálculo del rendimiento de maquinaria se encuentra condicionado por el tipo de maquinaria, dimensiones de maquinaria, ángulo de giro, tipo de material a trabajar, capacidad que se posee, entre otros factores. En general para el cálculo del rendimiento se determina con la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento real horario } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) = \frac{Q * F * E * f * 3600}{T}$$

Donde:

R= Rendimiento $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)$

Q = Capacidad del equipo de trabajo (1,35m³)

Anexo 5: Especificaciones del cucharón excavadora CAT M320

								
MODELO	M312		M315		M318		M320	
Potencia al volante	85,1 kW	114 hp	92,4 kW	124 hp	104,4 kW	140 hp	104,4 kW	140 hp
Peso en orden de trabajo*	13.810 kg	30.450 lb	15.730 kg	34.685 lb	17.910 kg	39.490 lb	19.410 kg	20.640 lb
Capacidades del cucharón (colmado)	0,24- 0,86 m ³	0,31- 1,12 yd ³	0,24- 0,86 m ³	0,31- 1,12 yd ³	0,4- 1,05 m ³	0,52- 1,37 yd ³	0,41- 1,35 m ³	0,54- 1,77 yd ³
Modelo de motor	3054 TA		3054 TA		3116 T		3116 T	
RPM nominales del motor	2000		2300		2000		2000	
No. de cilindros	4		4		6		6	
Calibre	100 mm	3,9"	100 mm	3,9"	102 mm	4"	102 mm	4"
Carrera	127 mm	5"	127 mm	5"	130 mm	5,1"	130 mm	5,1"
Cilindrada	3,99 L	243 pulg ³	3,99 L	243 pulg ³	6,6 L	402,6 pulg ³	6,6 L	402,6 pulg ³
Caudal máx. de la bomba hidráulica del implemento a as RPM nominales	190+80 L/min	50+21 gal/min	220+80 L/min	58+21 gal/min	260+112 L/min	69+30 gal/min	320+112 L/min	85+30 gal/min

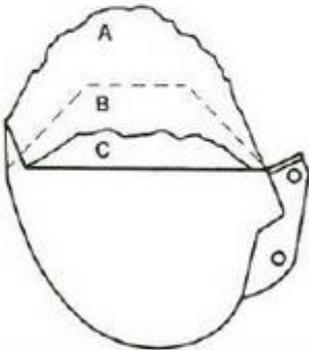
Fuente: Manual rendimiento Maquinaria Pesada Caterpillar

F= Factor de carga (1)

Este factor vendrá dado por las especificaciones en el manual, para la excavadora M320 el factor de llenado según el material es de 100 %.

Anexo 6:Factor de llenado del cucharon de la excavadora

Material	Factor de llenado (Porcentaje de la capacidad colmada del cucharón)
Marga mojada o arcilla arenosa	A ---100-110%
Arena y grava	B --- 95-110%
Arcilla dura y compacta	C --- 80-90%
Roca bien fragmentada por voladura	60-75%
Roca mal fragmentada por	40-50%



Fuente: Manual de rendimiento de maquinaria pesada Caterpillar.

E = Factor de eficiencia (0,73)

Se toma en cuenta varios factores como la organización de la empresa y condiciones de trabajo a las que se somete la maquinaria. Haciendo referencia a la ocupación horaria de operación, para el proyecto de optimización se seleccionó los dos parámetros dando como resultado bueno dando como factor (0,73)

Anexo 7: Factor de eficiencia

Condiciones de trabajo	Organización de la Empresa			
	Excelente	Buena	Regular	Deficiente
Excelente	0.83	0.8	0.77	0.77
Buena	0.76	0.73	0.70	0.64
Regular	0.72	0.69	0.66	0.60
Deficiente	0.61	0.61	0.59	0.54

Fuente: Economía Minera

f= factor de conversión del suelo o roca (0,90)

Hace referencia al tipo de material que se está moviendo.

Anexo 8:Factor de conversión del suelo o roca

Clase de terreno	Sobre perfil	Esponjado	Compactado/En Banco
Tierra	1.00	1.25	0.90
Arcilla	1.00	1.40	0.90
Arena	1.00	1.10	0.95

Fuente: Fuente: Construcciones Industriales, CHERNÉ Juan, González Andrés

T= Ciclo (min)

Anexo 9:Ciclos de trabajo de excavadora

DATOS EXCAVADORAS M320	
Número de dato	Tiempo ciclo de cargado (s)
1	17
2	17,4
3	18,6
4	19
5	20
6	17
7	17
8	17
9	18
10	19
11	17,2
12	15
13	18,6
14	17,5
16	22
17	20
18	18,6
19	17,4
20	17,4
21	18
22	19
23	19
24	22
25	18,7
26	20
27	18,6
28	17,4
29	18,6
30	18
TOTAL(s)	552
TOTAL(min)	9,2
X (media)	18,4

Entonces:

$$R_{\text{real}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = \frac{1,35 * 1 * 0,73 * 0,90 * 3600}{18,4}$$

$$R_{\text{real}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = 173,53 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Costo unitario

$$\text{Costo unitario} \left(\frac{\text{USD\$}}{\text{m}^3} \right) = \frac{\text{Costo Horario}}{\text{Rendimiento real}}$$

$$\text{Costo unitario} = \frac{58}{173,53} = 0,33 \left(\frac{\text{USD\$}}{\text{m}^3} \right)$$

Rendimientos teóricos

Haciendo referencia a las tablas de producción del manual de Caterpillar en donde se toma condiciones muy favorables de trabajo.

Anexo 10: Tabla de cálculo de producción

Tiempos de Ciclo Calculados		CARGA UTIL CALCULADA DEL CUCHARON** — METROS CUBICOS SUELTOS																		Tiempos de Ciclo Calculados				
Tiempo en		0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	4,0	Ciclos por min.	Ciclos por seg.		
Seg.	Min.																							
10,0	0,17																					6,0	360	
11,0	0,18																						5,5	330
12,0	0,20	60	90	150	210	270																	5,0	300
13,3	0,22	54	81	135	189	243	297	351	405	459	513	567	621	675	729	783	837	891	945	1080		4,5	270	
15,0	0,25	48	72	120	168	216	264	312	360	408	456	504	552	600	648	696	744	792	840	960		4,0	240	
17,1	0,29	42	63	105	147	189	231	273	315	357	399	441	483	525	567	609	651	693	735	840		3,5	210	
20,0	0,33	36	54	90	126	162	198	234	270	306	342	378	414	450	486	522	558	544	630	720		3,0	180	
24,0	0,40	30	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345	375	405	435	465	495	525	600		2,5	150	
30,0	0,50	24	36	60	84	108	132	156	180	204	228	252	276	300	324	348	372	396	420	480		2,0	120	
35,0	0,58	20	31	51	71	92	112	133	153	173	194	214	235	255	275	296	316	337	357	408		1,7	102	
40,0	0,67					81	99	177	135	153	171	189	207	225	243	261	279	297	315	360		1,5	90	
45,0	0,75									133	148	164	179	195	211	226	242	257	273	312		1,3	78	
50,0	0,83																					1,2	72	

Fuente: Manual de rendimiento de maquinaria Caterpillar

Realizando un promedio se establece un rendimiento de $294 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$, que se corregirá ya que tan solo 50 minutos de los 60 min son aprovechados, generando un factor de eficiencia de 83%.

Por consiguiente, el rendimiento teórico se define de la siguiente forma:

$$\text{Rteo} = R * E$$

Donde:

R: Rendimiento establecido en tabla de cálculo de producción.

E: Factor de eficiencia

$$\text{Rteo} = 294 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 0.83 = 244,02 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Anexo 11:Cálculo de Rendimiento Tractor D6

Modelo	Tractor CAT D6R LGP
Potencia	230Hp
Capacidad de la hoja	5,62 m ³
Largo de la cadena en el suelo	3,05
alquiler por hora	60 USD\$

Rendimiento Tractor D6R LGP

Para el cálculo de rendimiento de este tipo de maquinaria el principal factor que lo condiciona es la capacidad de la hoja, así como la eficiencia en la operación de dicha maquinaria. Por lo que se usa la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento Horario} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = \frac{Q_c * E * C_t * 60 * N}{T}$$

En donde:

Q_c= Capacidad de la hoja para el trabajo (5.62 m³)

Anexo 12: Especificaciones de la hoja de trabajo del Tractor D6R GPL

MODELO	D6R, D6R XL y D6R LGP					
	6S LGP		6A (IG)		6SU (IG)	
	Recta		Orientable		Semiuniversal	
Tipo						
Capacidades de la hoja*	3,70 m ³	4,88 yd ³	4,3 m ³	5,68 yd ³	5,62 m ³	7,4 yd ³
Peso de embarque** (Hoja)	2801 kg	6182 lb	3260 kg	7180 lb	2950 kg	6500 lb
Dimensiones generales (Tractor y Hoja)						
A Longitud (hoja derecha)	5,71 m	18'9"	—	—	—	—
Dimensiones de la hoja:						
B Ancho (con cantoneras estándar)	3,99 m	13'1"	4,20 m	13'8"	3,56 m	11'3"
C Altura	1101 mm	3'7,3"	1169 mm	3'10"	1412 mm	4'3"
D Prof. máx. de excavación	655 mm	2'1,2"	500 mm	1'7,7"	459 mm	1'5,1"
E Espacio libre sobre el suelo levantada completamente	1083 mm	3'5,8"	1242 mm	4'1"	1195 mm	3'11"
F Inclinación manual	632 mm	2'0,8"	408 mm	1'3,1"	670 mm	2'2,4"
G Angulo máx. de ataque	+5,3°-4,8°		+5,3°-4,8°		+5,3°-4,8°	
H Inclinación hidráulica máx.	701 mm	2'3,8"	408 mm	1'3,1"	743 mm	2'5,3"
J Inclinación hidráulica (trámte manual centrado)	385 mm	1'5,2"	408 mm	1'3,1"	743 mm	2'5,3"

FUENTE: Manual de Rendimiento de Maquinaria Caterpillar

Como se puede observar en la ilustración 16 el tractor D6R GPL, tiene una hoja tipo 6SU (IG) con una capacidad de 5.62 m³.

E = Factor de eficiencia (0,73)

Se toma en cuenta varios factores como la organización de la empresa y condiciones de trabajo a las que se somete la maquinaria. Haciendo referencia a la ocupación horaria de operación, para el proyecto de optimización se seleccionó los dos parámetros dando como resultado bueno dando como factor (0,73).

Ct= factor de conversión del suelo o roca (0,90)

Hace referencia al tipo de material que se está moviendo.

Anexo 13:Factor de conversión del suelo o roca

Clase de terreno	Sobre perfil	Esponjado	Compactado/En Banco
Tierra	1.00	1.25	0.90
Arcilla	1.00	1.40	0.90
Arena	1.00	1.10	0.95

Fuente: Fuente: Construcciones Industriales, CHERNÉ Juan, González Andrés

Anexo 14: Ciclos de trabajo de Tractor D6R GPL

T= Ciclo (min)

DATOS TRACTOR			
NUMERO	TIEMPO DE IDA (s)	TIEMPO DE REGRESO (s)	CICLO (s)
1	76	70	146
2	86	81	167
3	86	73	159
4	75	75	150
5	86	75	161
6	76	81	157
7	86	81	167
8	89	81	170
9	89	70	159
10	86	73	159
11	84	72,5	157
12	76	70	146
13	86	81	167
14	86	73	159
15	80	70	150
16	80	80	160
17	81	81	162
18	77	70	147
19	76	73	149
20	76	81	157
21	76	81	157
22	86	70	156
23	86	73	159
24	75	70	145
25	76	70	146
26	86	71	157
27	78	70	148
28	78	81	159
29	86	73	159
30	86	70	156
X (media)	81,67	74,7	156,35
X (media)(min)	1,36	1.245	2,605

N= Coeficiente de gestión de adaptación al tajo (0,85)

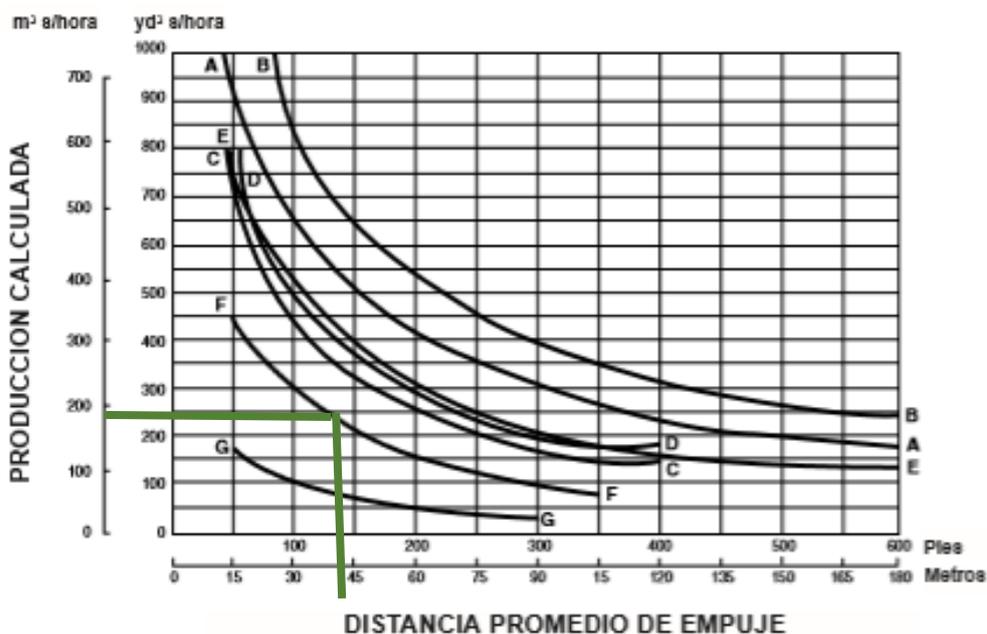
Hace referencia a la adaptación que tiene la maquinaria en el área de trabajo, este coeficiente comúnmente va de (0,8 a 0,99 por lo que en el proyecto se tomó un promedio dándonos un coeficiente de (0,85)

Entonces:

$$\text{Rendimiento real} = \frac{5.62 * 0.73 * 0.9 * 60 * 0.85}{2.605} = 72.28 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Anexo 15: Rendimiento Teórico

Tomando como referencia el Manual de Rendimiento Caterpillar el rendimiento teórico viene dado según gráficas de máximo rendimiento de una hoja 6 SU (IG), obteniendo como resultado una producción de $230 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$, que debe ser corregida mediante factores.



Fuente: Manual de Rendimiento Caterpillar

CLAVE

- A — 824-S
- B — 834-S
- C — D7G-7S
- D — D7R-7S
- E — 814-S
- F — D6R-6S
- G — D3C LGP

Anexo 16: Corrección de producción teórica según condiciones de trabajo

FACTORES DE CORRECCION SEGUN LAS CONDICIONES DEL TRABAJO		
	TRACTOR DE CADENA	TRACTOR DE RUEDA
OPERADOR: —		
Excelente	1,00	1,00
Bueno	0,75	0,60
Deficiente	0,60	0,50
MATERIAL —		
Suelto y amortonado	1,20	1,20
Difícil de cortar; congelado; — con cilindro de inclin. lateral	0,60	0,75
sin cilindro de inclin. lateral	0,70	—
hoja con control de cable	0,60	—
Difícil de empujar; se apelmaza (seco, no cohesivo) o material muy pegajoso.	0,80	0,60
Rocas desgarradas o de voladura	0,60-0,80	—
EMPUJE POR METODO DE ZANJA	1,20	1,20
CON DOS TRACTORES JUNTO	1,15-1,25	1,15-1,25
VISIBILIDAD:		
Polvo, lluvia, nieve, niebla, oscuridad	0,60	0,70
EFICIENCIA DEL TRABAJO: —		
50 min/hr	0,83	0,63
40 min/hr	0,67	0,67
HOJA #:		
Ajuste según la capacidad SAE de la hoja básica que se usa en las gráficas de los cálculos de producción.		
PENDIENTE #: Vea gráfica sig.		

Fuente: Manual de Rendimiento Caterpillar

Corrección de la densidad 0.87

$$R_{teo} = \text{Rendimiento} * \text{Factor de correccion}$$

$$R_{teo} = 230 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 0.75 * 0.80 * 0.83 * 0.87 = 99.64 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Anexo 17:Cálculo de producción volquetes JAC camión volquete

Modelo	JAC camión volquete
Potencia	366hp
Capacidad de la tolva	82 m ³
Largo de la cadena en el suelo	3,05
alquiler por ton	1,7 USD\$
velocidad media	25km/h

Rendimiento JAC camión volquete

El rendimiento de un volquete se encuentra condicionado por varios factores en los que destacan su capacidad, velocidad media, eficiencia de operación. Por lo tanto, para el cálculo del rendimiento se utilizará la siguiente formula:

$$R_{real} = \frac{Q * F * E * f}{\frac{tf}{60} + \frac{2D}{V_m * 1000}}$$

Donde:

Q= Capacidad del volquete

En el área minera “María” se trabaja con volquetes JAC camión volquete, considerando sus dimensiones, las tolvas tiene capacidades de 8 m³ y 13 m³.

Anexo 18:Factor de carga

F= Factor de carga (1,1)

Material	Factor de carga (porcentaje de la capacidad colmatada del cucharon)
Marga mojada o arcilla arenosa	A----100-110%
Arena y grava	B----95-110%
Arcilla dura y compacta	C----80-90 %
Roca bien fragmentada por voladura	60-75%
Roca mal fragmentada	40-50%

Fuente: Manual de rendimiento Caterpillar

El factor de carga se encuentra relacionado con la capacidad de la tolva del volquete condicionada por el tipo de material, tomando como referencia la tabla 7 el factor de carga es 1,1.

E= Factor de eficiencia (0,73): Se toma en cuenta varios factores como la organización de la empresa y condiciones de trabajo a las que se somete la maquinaria. Haciendo referencia en la tabla 2 donde se considera la ocupación horaria de operación, para el proyecto de optimización se seleccionó los dos parámetros dando como resultado bueno dando como factor (0,73).

f= factor de conversión del suelo o roca (0,90): Se considera la forma en la que se encuentra, su esponjamiento y comportamiento del material a transportar, por lo tanto, el factor de conversión según la tabla 3 se tiene 0,90.

Tf= tiempo fijo: El tiempo fijo se calcula tomando en cuenta el tiempo de carga, descarga, maniobreo, tiempo de ida y tiempo de vuelta desde el frente de explotación hasta el patio de stock (saquea).

D= Distancia de recorrido (7000)

Se refiere a la distancia que el material a transportar tiene que recorrer, desde los frentes de arranque hasta el patio de stock.

Anexo 19: Tiempo fijo y distancia recorrido por el volquete

Volquete	Tiempo cargado (s)	Tiempo ida (s)	Tiempo descarga (s)	Tiempo de imprevistos (s)	Tiempo de maniobreo (s)	Tiempo de retorno (s)	Tiempo ciclo (s)	Tiempo ciclo (min)	Distancia (m)	Capacidad valde (m ³)	Tiempo sin imprevistos (s)
AAW352	130	473	143	121	142	427	1436	23,933	1188	8	1315
LBB4114	150	374	130	144	181	369	1348	22,467	1188	8	1204
KBA0629	129	452	98	597	141	463	1880	31,333	1188	8	1283
LCD0933	125	620	70	65	70	620	1570	26,167	2043,3	8	1505
GCF075	173	735	110	60	65	765	1908	31,8	2891,2	13	1848
GKR060	205	635	87	134	72	680	1813	30,217	2043,3	13	1679

V_m = Velocidad media

Los volquetes que se encuentran desarrollando actividades en el Área Minera María tienen una velocidad promedio de 25km/h, siendo este un valor eficiente permitiendo que el operador tenga un tiempo apropiado de reacción ante cualquier contratiempo que se pueda presentar, durante el desarrollo de esta actividad.

Por consiguiente, el rendimiento real para cada uno de los volquetes es:

$$R_{real} = \frac{Q * F * E * f}{\frac{t_f}{60} + \frac{2D}{V_m * 1000}}$$

Anexo 20:Cálculo del rendimiento de volquetes

Volquete	Capacidad Valde (m ³)	Factor De Carga	Factor De Eficiencia	Factor De Conversión Del Suelo O Roca	Tiempo Fijo (min)	Conversión de minutos A Horas	Distancia (m)	Velocidad Media (Km/h)	Rendimiento (m ³ /h)
AAW352	8	1,1	0,73	0,9	23,9333333	60	1188	25	11,7053287
LBB4114	8	1,1	0,73	0,9	22,4666667	60	1188	25	12,314785
KBA0629	8	1,1	0,73	0,9	31,3333333	60	1188	25	9,3665217
LCD0933	8	1,1	0,73	0,9	26,1666667	60	2043,3	25	9,64282855
GCF075	13	1,1	0,73	0,9	31,8	60	2891,2	25	12,3409292
GKR060	13	1,1	0,73	0,9	30,2166667	60	2043,3	25	14,0840212
								Rendimiento horario total de los volquetes	69,4544143

RENDIMIENTO TEÓRICO

El rendimiento teórico en un volquete se lo calcula usando los tiempos sin los imprevistos, por lo que el rendimiento teórico del proyecto es:

Anexo 21: Cálculo de rendimiento teórico

Volqueta	Capacidad Valde (m ³)	Factor De Carga	Factor De Eficiencia	Factor De Conversión Del Suelo O Roca	Tiempo Fijo Sin Imprevistos (min)	Conversión de minutos A Horas	Distancia (m)	Velocidad Media (Km/h)	Rendimiento(m ³ /h)
AAW352	8	1,1	0,73	0,9	21,917	60	1188	25	12,560019
LBB4114	8	1,1	0,73	0,9	20,067	60	1188	25	13,461722
KBA0629	8	1,1	0,73	0,9	21,383	60	1188	25	12,807333
LCD0933	8	1,1	0,73	0,9	25,083	60	2043,3	25	9,942228
GCF075	13	1,1	0,73	0,9	30,8	60	2891,2	25	12,61715
GKR060	13	1,1	0,73	0,9	27,983	60	2043,3	25	14,91634
Rendimiento teórico total de los volquetes									76,304791