

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO.

**“DISEÑO MINERO PARA UNA CANTERA DE ARCILLAS BLANCAS RICAS EN  
ÓXIDO DE ALUMINIO, UBICADAS EN SANARE, ESTADO LARA”.**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.

Johanna D. Hernández V. Y Josmel J. Rincones T.

Para optar al título de  
Ingeniería de Minas

Caracas, Junio de 2024

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**“DISEÑO MINERO PARA UNA CANTERA DE ARCILLAS BLANCAS RICAS EN  
ÓXIDO DE ALUMINIO UBICADAS EN SANARE, ESTADO LARA”.**

Tutor Académico: Prof. José Luis de Abreu

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por los Brs. Johanna D. Hernández V. Y Josmel J. Rincones T.  
Para optar al título de  
Ingenieros de Minas

Caracas, Junio de 2024

Caracas, Junio de 2024.

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Brs. Johanna D. Hernández V. Y Jasmel J. Rincones T., titulado:

**“DISEÑO MINERO PARA UNA CANTERA DE ARCILLAS BLANCAS RICAS EN ÓXIDO DE ALUMINIO, UBICADAS EN SANARE, ESTADO LARA”.**

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



**Prof. Jose Luis de Abreu**

**Tutor académico**



**Prof. María Alejandra Labrador**

**Jurado**



**Prof. Marianne Garrido**

**Jurado**

## **DEDICATORIA**

*A Dios primeramente por darme las capacidades y la familia que tengo.*

*A mi madre por su inmenso amor y apoyo, por jamás dejarme caer.*

*A mi familia, por estar allí en la meta esperando mi llegada.*

***Johanna Hernández***

*A la memoria de mi abuela Carmen de Tineo (Maita) y de mi mejor amigo Jorge Rafael Torres, que dios los tenga en su santa gloria*

*A mis padres y hermanos, ellos hicieron esta meta realidad*

*A todas las personas por subestimar mis capacidades, los que no creyeron en mi pero aquí el loco les demuestra que él siempre puede... mala mía*

***Josmel Rincones***

## AGRADECIMIENTO

*En primer lugar quiero agradecer a **DIOS**, por sus bendiciones, por cada una de sus enseñanzas, retos, caídas y levantadas. Por permitirme lograr esta meta que solo él y mi familia saben lo que se ha tenido que pasar. Por permitirme entender esa frase de “EL TIEMPO DE DIOS ES PERFECTO”, nada llega antes ni después sino en el momento que debe ser. **DIOSITO GRACIAS**.*

*A mi madre por su apoyo incondicional, por sus sacrificios, por su amor y palabras que me llenaron y llenan de fuerzas para seguir adelante, por jamás dejarme caer y siempre ser mi pilar. Por enseñarme que a pesar de todas las circunstancias de la vida en nuestro ser siempre debe haber amor, paz y serenidad.*

*A mi tía Nélide, por su incondicional presencia, por sus palabras, por enseñarme que cada reto que se nos presente en la vida hay que enfrentarlos con una hermosa sonrisa, y que lo que realmente tiene valor es lo que uno sueña.*

*A Yuraima Hergueta, por su apoyo, su confianza, por darme ese empujón para culminar esta etapa, avanzar, y dejar atrás aquellas cosas que no suman en la vida.*

*A José Luis de Abreu, nuestro tutor, a usted quiero expresar mi más sincero agradecimiento, por su guía y apoyo durante el desarrollo de este trabajo y en momentos de la carrera. Por su confianza, orientación, paciencia y motivación, fueron fundamentales para la culminación exitosa de este proyecto.*

*Prof. Aurora Piña, gracias por su apoyo, por sus palabras, por compartir sus conocimientos y por los ánimos dados para llegar hasta el final.*

*A todos aquellos profesores que formaron parte de cada uno de los pasos de mi formación académica. Prof. Katherine, Prof. Ricardo Alezones, Prof. Maria Rincon, Prof. Alba Castillo, gracias por el apoyo brindado durante la realización de este proyecto.*

*A mi compañero de Tesis, Josmel Rincones, por su comprensión y más que compañerismo, por su amistad y confianza.*

*A los promotores del proyecto Arcillas blancas venezolanas “ABV” Sres. Pedro Yépez, Luis Martínez y el personal de apoyo de la zona por la oportunidad, la confianza y el apoyo prestado.*

*Por último, pero no menos importante a la Ilustre UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA, a quien debo mi formación académica, por todas las herramientas que me brindo durante el transcurso de mi carrera, gracias a la casa que vence las sombras por todos los momentos especiales que me regala.*

**Johanna Hernández**

*Primeramente le dio las gracias a **DIOS**, por iluminar mi camino, darme la fuerza en los momentos más difíciles de mi vida y por colocarme en este sendero tan importante para mí*

*A mi Padre Cesar Luis Rincones por ser mi ejemplo a seguir, hombre que con mucho esfuerzo y sacrificio aún sigue luchando para sacar la familia hacia adelante.*

*A mi Madre Silvia Josefina de Rincones a la que le debo la vida. Con ese toque tan cálido que solo una madre puede dar, mi amiga y compañera siempre, junto a mi papa son las bases de hombre que soy hoy por hoy. A ellos les debo todo.*

*A mis hermanos Cesar, Ceyli y Yorman Rincones, mis mejores amigos, no hay nada en el mundo que puedan reemplazarlos. Tuve la suerte que la vida me regalase a los mejores compañeros de vida y que dios siempre nos mantenga unidos a pesar de la distancia, su apoyo incondicional fue de mucha ayude e importancia para mi*

*Y a mi familia en general por su apoyo incondicional, por sus sacrificios, por su amor y palabras que me llenaron y llenan de fuerzas para seguir adelante, por jamás dejarme caer y siempre ser mi pilar. Por enseñarme que a pesar de todas las circunstancias de la vida en nuestro ser siempre debe haber amor, paz y serenidad.*

*A Ricardo Alezones y Carolina Machillanda, mis padres de geología, quienes siempre me apoyaron y me ayudaron desde que llegue a su laboratorio, por esa confianza que depositaron y que siempre voy a valorar*

*A José Luis de Abreu mí, Sensei, nuestro tutor, a usted quiero expresar mi más sincero agradecimiento, por su guía y apoyo durante el desarrollo de este trabajo y en momentos de la carrera. Por su confianza, orientación, paciencia y motivación, fueron fundamentales para la culminación exitosa de este proyecto.*

*Prof. Katherine Silva, Aurora Piña, Morella Mikaty, María Falcón y Alba Castillo Gracias por su apoyo, por sus palabras, por compartir sus conocimientos y por los ánimos dados para llegar hasta el final.*

*A todos aquellos profesores que formaron parte de cada uno de los pasos de mi formación académica.*

*A mi compañera de Tesis, Johanna Hernández, que en tan poco tiempo se volvió parte importante de mi círculo de confianza, le agradezco la paciencia y el compromiso que con su humildad estuvo para apoyarme*

*A mis querido y apreciados compañeros. Reinaldo Gil, José Miguel luna, Ender Nieto, Williams Martínez, Daniel Melendre, Katherine Roa, Allenis Méndez, Carlos Castillo, Víctor barriles y Jonatán Gonzales, José Bogarin, María Fernanda Hernández, José quintero y David Solórzano que siempre serán parte de mi familia y que dios me los cuide y los bendiga donde quiera que estén.*

*A los promotores del proyecto Arcillas blancas venezolanas “ABV” Sres. Pedro Yépez, Luis Martínez y el personal de apoyo de la zona por la oportunidad, la confianza y el apoyo prestado.*

*Por último, pero no menos importante a la Ilustre UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA, a quien debo mi formación académica, por todas las herramientas que me brindo durante el transcurso de mi carrera, gracias a la casa que vence las sombras por todos los momentos especiales que me regala.*

**Josmel Rincones**

**Johanna D. Hernández V. Y Josmel J. Rincones T.**

**“DISEÑO MINERO PARA UNA CANTERA DE ARCILLAS BLANCAS RICAS EN ÓXIDO DE ALUMINIO, UBICADAS EN SANARE, ESTADO LARA”.**

Tutor Académico: Prof. José Luis de Abreu. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología Minas y Geofísica. 2024, número de páginas: 162.

**Palabras claves:** Arcilla blanca-sanare-Barquisimeto (Lara), arcilla blanca-extracción, equipos mineros, diseño y planificación minera

**RESUMEN.**

El proyecto de Diseño Minero tiene como objetivo principal la extracción eficiente y sostenible de arcilla blanca con alto contenido de óxido de aluminio en una cantera de arcilla del sector Sanare, estado Lara. Se plantean estrategias para optimizar los procesos de extracción y transporte, maximizando la productividad y minimizando el impacto ambiental, tomándose en cuenta parámetros de diseño técnico y operativo para el desarrollo del método de explotación, bancos, vías, producción y almacenamiento, la cual con ayuda de un levantamiento topográfico, se logra la actualización del mapa correspondiente a la zona, por otro lado, se lleva a cabo un análisis de la geología de la zona para identificar las áreas de mayor concentración de arcilla de calidad y así conocer las orientaciones de las capas litológicas.

Los modelos se han realizado empleando el método de stripping mine con bancos descendentes desde el nivel 1139 al nivel 1098 en forma de terrazas. Los valores seleccionados de diseño son bancos de 5 m de altura, ancho de talud de 4 m, ángulo de bancos de 60° y ángulo de talud finales de 40°. Estos parámetros permiten una extracción de 203.875 m<sup>3</sup> de arcillas explotables en 2 años, en esa fase se prevé una producción mensual de 9.750 m<sup>3</sup> de arcilla que equivalen a 15.000 t. Este diseño se ha realizado para mejorar la producción requerida por los beneficiarios, cumpliendo además con los requerimientos de estabilidad, seguridad y operatividad en el frente de trabajo. Por otra parte, se ajusta una implementación de controles de las operaciones y equipos que permitan la eficiencia de las actividades extractivas. Además, se consideraran medidas de seguridad y una gestión adecuada de los residuos para garantizar condiciones seguras de trabajo. El diseño de minas buscara integrar principios de sostenibilidad ambiental, promoviendo prácticas responsables de rehabilitación de áreas explotadas y la conservación del entorno natural. Asimismo, se establecerán planes de monitoreo ambiental para asegurar el cumplimiento de las normativas vigentes.

**INDICE GENERAL**

CAPITULO I.....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1    PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2    OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.2.1    General.....	3
1.2.2    Específicos.....	3
1.3    JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
1.4    ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.5    UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIOS .....	5
1.6    LINDEROS DEL ÁREA DE TRABAJO.....	6
1.7    CLIMA.....	6
1.8    PRECIPITACIÓN.....	7
1.9    TIPO DE SUELO.....	8
1.10    HIDROGEOLOGÍA.....	8
1.11    VEGETACIÓN.....	9
1.12    METEORIZACIÓN Y EROSIÓN.....	9
CAPITULO II .....	10
MARCO GEOLOGICO.....	10
2.1.    GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	12
CAPITULO III.....	14
MARCO TEORICO.....	14
3.1.    ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
3.2.    BASES TEÓRICAS.....	16
3.2.1.    Arcilla:.....	16
3.2.2.    Clasificación industrial de las arcillas .....	17
3.2.3.    Levantamiento topográfico.....	18
3.2.4.    Equipo topográfico.....	19
3.2.5.    Recurso mineral.....	19
3.2.5.1.    Clasificación de los Recursos.....	20
3.2.6.    Método de estimación de recurso.....	22
3.2.7.    Métodos de los perfiles.....	23
3.2.8.    Métodos de explotación.....	25
3.2.9.    Operaciones básicas en minería a cielo abierto.....	29
3.3.    PLAN DE TRABAJO EN UN PERIODO DE TIEMPO.....	30
3.4.    SELECCIÓN DE EQUIPOS MINEROS.....	31
3.4.1.    Equipo de Carga.....	32
3.4.2.    Equipos de acarreo.....	34

3.4.3.	Maquinaria auxiliar .....	35
3.4.4.	Operación unitaria de los camiones.....	37
3.4.5.	Versatilidad operacional y tipos de unidades .....	37
3.5.	CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE UNA EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO .....	38
3.6.	MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.....	41
3.7.	ESCOMBRERAS.....	44
3.7.1.	Consideraciones básicas de diseño:.....	45
3.7.2.	Tipos de Escombreras: .....	47
3.7.3.	Configuración de la escombrera.....	50
3.7.4.	Método de construcción: .....	51
3.7.5.	Seguridad.....	51
3.8.	ASPECTOS AMBIENTALES Y SEGURIDAD.....	52
3.8.1.	Impacto Ambiental:.....	52
3.8.2.	Seguridad laboral.....	58
CAPÍTULO IV.....		66
MARCO METODOLÓGICO .....		66
4.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	67
4.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	67
4.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	67
4.4.	INSTRUMENTOS DE LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	67
4.5.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	68
CAPÍTULO V.....		70
RESULTADOS Y ANALISIS.....		70
5.1.	ESTUDIO DE LA ZONA .....	70
5.1.1.	Levantamiento Topográfico: .....	71
5.1.2.	Análisis Geológico y Químico .....	72
5.1.3.	Estudio Geofísico .....	76
5.2.	RECURSOS.....	78
5.3.	VIDA ÚTIL DEL YACIMIENTO.....	81
5.4.	EXTRACCIÓN .....	81
5.4.1.	Método de Explotación .....	81
5.4.2.	Diseño Geométrico del área de trabajo.....	82
5.4.2.1.	Diseño de banco.....	82
5.5.	PRODUCTIVIDAD.....	92
5.5.1.	Vías.....	92
5.5.2.	Operaciones de Extracción.....	96
5.5.3.	Sistema de producción: .....	97

5.5.4.	Producción de Equipos y Maquinarias.....	100
5.5.5.	Número de equipos necesarios para la producción requerida: .....	111
5.6.	INSTALACIONES E INFRAESTRUCTURA.....	114
5.6.1.	Galpón de Almacenamiento.....	115
5.6.2.	Taller.....	116
5.6.3.	Mantenimientos:.....	117
5.6.3.1.	Combustible .....	118
5.6.4.	Oficina y Almacén de Insumos.....	120
5.7.	CONTROLES DE OPERACIONES Y ÁREAS.....	121
5.8.	ESCOBRERA.....	125
5.9.	EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.....	128
5.10.	PLAN DE EXTRACCIÓN DE 2 AÑOS POR EL REQUERIMIENTO DE 15.000 TON/MES.....	132
5.11.	PERSONAL.....	133
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	135
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	140

## INDICE TABLAS

Tabla 1.	Coordenadas del área cartográfica .....	5
----------	---	---

Tabla 2.	Datos hidrogeológicos del Sector del mapa a escala 1:2.500.000.....	8
Tabla 3.	Estabilidad global, coeficientes de seguridad mínimos.....	42
Tabla 4.	Métodos para el cálculo del coeficiente de seguridad.....	43
Tabla 5.	Parámetros volumétricos de la escombrera.....	50
Tabla 6.	Puntos del Levantamiento Topográfico del Área de Interés.....	71
Tabla 7.	Ensayos realizados a los núcleos de las perforaciones.....	74
Tabla 8.	Resultados de los análisis químicos.....	75
Tabla 9.	Áreas de las capas litológicas del yacimiento.....	80
Tabla 10.	Volumen de Capas Litológicas.....	81
Tabla 11.	Volumen Total de Litologías.....	81
Tabla 12.	Valores típicos de peso unitario, Angulo de fricción y cohesión de suelos.....	84
Tabla 13.	Valores del ancho mínimo operativo.....	91
Tabla 14.	Valores del ancho de la vía.....	94
Tabla 15.	Factor de Llenado para algunos materiales.....	101
Tabla 16.	Tiempo estándar de ciclo de Excavadora (Seg).....	101
Tabla 17.	Factor de conversión de Excavadora.....	102
Tabla 18.	Factor de Eficiencia.....	102
Tabla 19.	Especificaciones de Excavador tomado como referencia para los cálculos de producción, sacado de catálogo de fabricante.....	102
Tabla 20.	Factor de Llenado para algunos materiales.....	103
Tabla 21.	Factor de conversión.....	103
Tabla 22.	Tiempo estándar de ciclo de Cargador Frontal y tractor de oruga.....	104
Tabla 23.	Factor de Eficiencia.....	104
Tabla 24.	Especificaciones de cargador frontal tomado como referencia para los cálculos de producción sacado de catálogo del fabricante.....	104
Tabla 25.	Factor de corrección de los materiales.....	106
Tabla 26.	Factor de la hoja.....	107
Tabla 27.	Factor de eficiencia.....	107
Tabla 28.	Factor de la pendiente.....	107
Tabla 29.	Cambios que se usan en cada operación con sus respectivas velocidades medias..	108
Tabla 30.	Eficiencia de Trabajo de las volquetas.....	110
Tabla 31.	Tiempos de colocación e inicio de carga de las volquetas.....	110
Tabla 32.	Tiempo de descarga de las volquetas.....	110
Tabla 33.	Especificaciones de Camión articulado tomado como referencia para los cálculos de producción sacado de catálogo del fabricante.....	111
Tabla 34.	Ejemplos de Camiones Articulados medianos con especificaciones similares a los evaluados para el cálculo de las producciones.....	113

Tabla 35.	Ejemplos de Excavadoras medianos con especificaciones similares a la evaluada para el cálculo de las producciones .....	113
Tabla 36.	Ejemplos de Cargadores Frontales medianos con especificaciones similares a la evaluada para el cálculo de las producciones .....	114
Tabla 37.	Frecuencia de Mantenimientos preventivos de las maquinarias y equipos. ....	118
Tabla 38.	Llenado de fluidos de los equipos y maquinarias.....	118
Tabla 39.	Frecuencia en días del llenado de combustible de los equipos y maquinarias .....	119
Tabla 40.	Capacidad del tanque de combustible de las maquinarias y equipos .....	119
Tabla 41.	Consumo diario de combustible de las maquinarias y equipos .....	120
Tabla 42.	Control diario de Volumen e inventario de material extraído .....	122
Tabla 43.	Reporte diario de operaciones y Control de mantenimiento de maquinarias y equipos.....	123
Tabla 44.	Control horas de trabajo del personal y Control de calidad de los materiales extraído.....	124
Tabla 45.	Control de las normas ambientales y Control de incidentes y medidas correctivas.....	124
Tabla 46.	Coordenadas cartográfica de la escombrera.....	125
Tabla 47.	Capacidades de la escombrera.....	127
Tabla 48.	Aplicación de la ley y medidas correctivas según el impacto generado por la explotación minera .....	129
Tabla 49.	Nómina de personal capacitado.....	133

## INDICE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación de la zona de estudio. El polígono blanco delimita la zona de estudio. Polígono rojo delimita zona de perforación a escala 1:100.000 (Tomado y modificado de GARRITY et al. 2004).	6
Figura 2.	Localización de la zona de trabajo sobre el mapa de Circulación Atmosférica y Tipos de Clima de Venezuela. Tomado del léxico estratigráfico.	7
Figura 3.	Tipo de suelo en el Sector. Tomado del léxico estratigráfico 2021.	8
Figura 4.	Hidrogeología de la zona de estudio. Tomado del léxico estratigráfico 2021.	9
Figura 5.	Mapa Geológico de la formación Moran a escala 1:100.000. Lo amarillo representa la extensión de la formación. (Tomado y modificado de GARRITY et al. 2004).	12
Figura 6.	Mapa geológico del área bajo estudio (Modificado de Von der Osten y Zozaya, 1957).	13
Figura 7.	Arcilla Cuaternaria, Amethyst Galleries (2007).	17
Figura 8.	Clasificación de recursos por el U.S. Bureau of mines y el U.S. Geological Survey. Tomado de Plata 2013.	21
Figura 9.	Método de los perfiles. Tomado de SNMPE, 2011.	24
Figura 10.	Mina Contour cerca de Middlesboro, Kentucky Fuente: División de Permisos de Minas de Kentucky.	26
Figura 11.	Mina a cielo abierto, Wyoming Fuente: BLM.	27
Figura 12.	Stripping mine de Powder River, Wyoming. Fuente: USGS.	27
Figura 13.	Mina Cash, distrito minero Gold Hill del condado de Boulder, Colorado, EE. UU. Fuente: USGS	28
Figura 14.	Explotación a cielo abierto de áridos. Tomado de Herbert (2006).	29
Figura 15.	Cargador frontal. Tomado de Google imágenes.	32
Figura 16.	Excavadora hidráulica sobre orugas. Tomado de Google imágenes.	33
Figura 17.	Tractor sobre orugas. Tomado de Google imágenes.	34
Figura 18.	Camión minero de 2 ejes. Tomado de Google imágenes.	34
Figura 19.	Camión articulado. Tomado de Google imágenes.	35
Figura 20.	Motoniveladora. Tomado de Google imágenes.	36
Figura 21.	Camión cisterna. Tomado de Google imágenes.	36
Figura 22.	Vehículo todo terreno. Tomado de Google imágenes.	37
Figura 23.	Parámetros geométricos que configuran el diseño de una explotación a cielo abierto. Fuente: Bustillo y López. (1997).	38
Figura 24.	Elementos del ancho mínimo de operación. Tomado de Portal Minero, 2006.	40
Figura 25.	Métodos para el cálculo de la estabilidad de taludes. Tomado de AIME.	41
Figura 26.	Escombrera de vertido libre tomado de Piña 2021 (modificado de Wahler (1979)).	47
Figura 27.	Escombrera de vertido por fases adosadas, tomado de Piña 2021 (modificado de Wahler (1979)).	48
Figura 28.	Escombrera de Dique de retención en pie, tomado de Piña 2021 (modificado de Wahler (1979)).	48

Figura 29.	Escombrera de Fases ascendentes superpuestas, tomado de Piña 2021 (modificado de Wahler (1979)).	49
Figura 30.	Escombrera de Rellenos Apilados, tomado de Piña 2021 (modificado de Wahler (1979)).	49
Figura 31.	Altura de la escombrera, tomado de Piña (2021). Modificado de Edumine (2006)..	50
Figura 32.	Angulo de talud de la escombrera, Tomado de Piña (2021). Modificado de Edumine (2006).	51
Figura 33.	Orden jerárquico del sistema jurídico venezolano. Fuente: Elaboración Propia.	54
Figura 34.	Reconocimiento de los parámetros de riesgo laboral. Fuente: Hernández (2005).	61
Figura 35.	Señalización de uso de casco de seguridad. Fuente: Seguridad e higiene laboral. <a href="http://floruts.blogspot.com/2013/08/senalizaciones-senalizacion-es-el.html">http://floruts.blogspot.com/2013/08/senalizaciones-senalizacion-es-el.html</a>	63
Figura 36.	Señalización de uso de lentes de seguridad. Fuente: Seguridad e higiene laboral. <a href="http://floruts.blogspot.com/2013/08/senalizaciones-senalizacion-es-el.html">http://floruts.blogspot.com/2013/08/senalizaciones-senalizacion-es-el.html</a>	63
Figura 37.	Señalización de uso de guantes de seguridad. Fuente: Seguridad e higiene laboral. <a href="http://floruts.blogspot.com/2013/08/senalizaciones-senalizacion-es-el.html">http://floruts.blogspot.com/2013/08/senalizaciones-senalizacion-es-el.html</a>	64
Figura 38.	Señalización de uso de mascarilla. Fuente: Seguridad e higiene laboral. <a href="http://floruts.blogspot.com/2013/08/senalizaciones-senalizacion-es-el.html">http://floruts.blogspot.com/2013/08/senalizaciones-senalizacion-es-el.html</a>	64
Figura 39.	Señalización de uso de protectores auditivos. Fuente: Seguridad e higiene laboral. <a href="http://floruts.blogspot.com/2013/08/senalizaciones-senalizacion-es-el.html">http://floruts.blogspot.com/2013/08/senalizaciones-senalizacion-es-el.html</a>	65
Figura 40.	Señalización de uso de chaleco reflectante. Fuente: Seguridad e higiene laboral. <a href="http://floruts.blogspot.com/2013/08/senalizaciones-senalizacion-es-el.html">http://floruts.blogspot.com/2013/08/senalizaciones-senalizacion-es-el.html</a>	65
Figura 41.	Figura. Mapa de la zona de estudio realizado en el software minero RECMIN a escala 1:2500. Fuente propia.	72
Figura 42.	Ubicaciones de las perforaciones en el Mapa de la zona de estudio, realizado en el software minero RECMIN a escala 1:2500. Fuente propia.	73
Figura 43.	Ubicación de Perforaciones, con litologías identificadas en campo, realizado en el software minero RECMIN a escala 1:1000. Fuente propia.	74
Figura 44.	Secuencia litológica identificadas en campo, realizado en el software minero RECMIN. Fuente propia.	74
Figura 45.	Muestras de arcilla para realizar los análisis químicos. Fuente propia.	75
Figura 46.	Arcillas Blancas masivas, ubicadas en el norte del polígono en estudio. Fuente propia.	77
Figura 47.	Arcillas Blancas laminares, ubicadas en el sur del polígono en estudio.	77
Figura 48.	Resistividades de las Capas Litológicas. Fuente propia.	78
Figura 49.	Modelado Geológico del área de interés, realizado en el software minero RECMIN a escala 1:1000. Fuente propia.	79
Figura 50.	Áreas y volumen de las secciones para el cálculo de recurso por el método de los perfiles, realizado en el software minero RECMIN. Fuente propia	80
Figura 51.	En ambos casos se muestran los diferentes escenarios de carga uno por debajo del nivel de la máquina el otro al mismo nivel pero ambas muestran el mismo avance en bloques. Tomado de Manual de Maquinarias pesadas Caterpillar.	82

Figura 52.	Casos a (90°), b (60°), c (45°) y d (30°), para realizar el modelado de estabilidad de talud en el programa Slide2 de Rocsciencia. Fuente propia.....	84
Figura 53.	Caso a donde se realiza la iteración de los valores de cohesión y fricción interna para encontrar el factor de seguridad 1 en el programa Slide2. Fuente propia .....	85
Figura 54.	Caso b donde se realiza la iteración de los valores de cohesión y fricción interna para encontrar el factor de seguridad 1 en el programa Slide2. Fuente propia. ....	86
Figura 55.	Caso c donde se realiza la iteración de los valores de cohesión y fricción interna para encontrar el factor de seguridad 1 en el programa Slide2. Fuente propia. ....	86
Figura 56.	Caso d donde se realiza la iteración de los valores de cohesión y fricción interna para encontrar el factor de seguridad 1 en el programa Slide2. Fuente propia. ....	87
Figura 57.	Iteración de los valores críticos de cohesión y fricción en el programa Slide2. Fuente propia.	88
Figura 58.	Ángulos para la geometría del frente de la zona de estudio, realizados en Autodesk Civil 3D. Fuente: fuente propia.....	89
Figura 59.	Elementos del ancho mínimo de operación. Tomado de Portal Minero (2006).....	90
Figura 60.	Vista 3D de los bancos y talud final en vista conceptual y superficie, realizado en Autodesk Civil 3D, donde se observa el área de extracción y el volumen a desmontar. Fuente propia.	92
Figura 61.	Diseño de vía realizado en el programa Autodesk civil 3D. fuente propia. ....	93
Figura 62.	Figura. Perfil longitudinal donde se observan los valores de las pendientes de la vía y las zonas de corte y relleno. Realizado en el programa Autodesk civil 3D. Fuente propia. ....	94
Figura 63.	Figura xx. Diseño de vía simple (rampa de acceso) y de doble vía (vía de acarreo), para la zona de estudio. Fuente: propia. ....	94
Figura 64.	Vista 3D de la vía, que parte desde el frente de explotación hasta el almacenamiento del material extraído, realizado en Autodesk Civil 3D. ....	95
Figura 65.	Vista 3D de la vía en la superficie generada por la topografía, que parte desde el frente de explotación hasta el almacén del material, realizado en Autodesk Civil 3D.....	96
Figura 66.	Ciclo Minero. Fuente propia .....	99
	.....	112
Figura 67.	Camiones articulados marca John Deere y Caterpillar. Fuente Google imagines...	112
Figura 68.	Excavador marca Komatsu. Fuente Google imagines.....	113
Figura 69.	Cargador Frontal marca Caterpillar. Fuente Google imagines.....	114
Figura 70.	Descarga del material acarreado en el galpón de almacenamiento. . Tomado de Manual de Maquinarias pesadas Caterpillar.....	115
Figura 71.	Galpón de Almacenamiento de material de arcilla. Fuente propia.....	116
Figura 72.	Ejemplo de Diseño para taller mecánico con vista de perfil y de planta. Fuente propia.	117
Figura 73.	Tanque de Combustible fijo. Fuente Google Imágenes. ....	120
Figura 74.	Tráiler para Oficinas y Almacén de Insumos. Fuente Google imágenes .....	121

Figura 75. Ubicación de escombrera en la zona de estudio de color verde, la zona de extracción está representada por la superficie de color blanca y el polígono blanco delimita la zona de estudio. 126

Figura 76. Mapa topográficos a escala 1:1.500 realizado en Autodesk civil 3D, donde se visualiza la superficie de la escombrera y la zona de explotación. Fuente propia. .... 127

Figura 77. Mapa topográficos modificado a escala 1:2000 realizado en Autodesk civil 3D, donde se representa las zonas de extracción, escombrera, vía de acarreo, almacenamiento, oficinas, almacén, insumo y taller..... 133

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

Las arcillas son materiales sedimentarios que se componen principalmente de partículas finas y aluminosilicatos. Estas son ampliamente utilizadas en numerosas industrias, como cerámica, construcción, ingeniería civil, industria química y la fabricación de productos refractarios.

Elaborar un diseño de minas para arcillas implica comprender la ubicación y distribución de los yacimientos, evaluar sus características físico-químicas, y garantizar una explotación responsable que minimice los impactos ambientales y maximice el aprovechamiento económico.

Durante el desarrollo de este plan de explotación, se revisaron estudios geológicos del área, identificando las características de los depósitos de arcillas., a través de técnicas de muestreo y análisis, se determinara la calidad del material, considerando aspectos como la plasticidad, retención de agua y resistencia mecánica. Con el objetivo final de establecer prácticas eficientes que permitan maximizar el rendimiento de los depósitos de arcillas.

Además, se examinarán factores ambientales que deben tenerse en cuenta al establecer un plan de extracción sostenible. Esto implica evaluar los impactos en las zonas circundantes, el uso responsable de los recursos naturales, así como garantizar la seguridad y bienestar de las operaciones mineras, personal de trabajo y comunidades locales.

Igualmente, se diseñara la infraestructura y servicios necesarios para la puesta en marcha de las operaciones de extracción, producción, almacenamiento y mantenimiento de las áreas productivas, equipos, maquinarias y materia prima.

En resumen, un diseño de minas para arcillas es un proceso que permitirá proporcionar las pautas necesarias para una extracción responsable y beneficiosa no solo para la industria sino también para el entorno en el que se encuentra. Tomando en cuenta los costos de capital y costos de operaciones.

## **1.1 Planteamiento del problema**

En un mundo globalizado y con una creciente demanda de materias primas, la arcilla se ha convertido en un recurso de gran importancia para la industria de la construcción y manufactura. En particular, países europeos y centroamericanos destacan como uno de los

principales mercados receptores de arcillas debido a su desarrollo constante en la infraestructura y la producción de productos cerámicos.

Sin embargo, a pesar de la existencia de yacimientos de arcilla en Venezuela con potencial para ser exportados, se ha evidenciado una falta de planificación estratégica en la explotación de este recurso. La ausencia de un diseño de minas adecuado impide una gestión eficiente y sostenible de la extracción de arcilla, lo cual puede resultar en riesgos ambientales, agotamiento temprano de los yacimientos y una disminución en la calidad de los productos.

Por lo tanto, es crucial desarrollar un plan de extracción en canteras para la extracción de las arcillas que serán exportadas desde Venezuela, Estado Lara. Además, es importante considerar las necesidades y requisitos del mercado, así como los aspectos logísticos y económicos relacionados con la exportación.

Vale destacar que la zona de trabajo no se ha realizado ningún trabajo de minería, lo que se denomina como una zona virgen. Con este diseño de minas se busca maximizar la rentabilidad económica de la exportación, al tiempo que se garantiza una gestión responsable y sostenible de los recursos naturales, esto permitirá fortalecer la posición de Venezuela como proveedor confiable de arcillas de alta calidad, generando beneficios tanto para la industria local como para la economía del país en general.

## **1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.**

### **1.2.1 General.**

Elaborar un diseño de mina eficiente y estratégico, para la extracción y exportación de arcillas blancas ricas en óxido de aluminio desde el Estado Lara.

### **1.2.2 Específicos.**

- Realizar un análisis de las características y propiedades de las arcillas, y así definir los recursos mineral y su distribución geográfica, identificando las zonas con mayor potencial de extracción.

- Definir las dimensiones del horizonte de arcilla, para el cálculo del recurso mineral según el alcance.
- Establecer un diseño de mina que incluya la definición del método de extracción, clasificación del material según su tamaño y características.
- Diseñar los taludes operacionales, altura y ancho de bancos de extracción y ángulo de talud final.
- Definir un sistema de arranque, carga y acarreo eficiente para cumplir con la producción requerida, incluyendo maquinarias y equipos de extracción, considerando los aspectos de rendimiento, ciclo minero, vías de acceso, con el fin de optimizar las operación.
- Realizar una infraestructura necesaria que incluya servicios de recepción y almacenamiento del material, almacén de insumos y repuestos, instalaciones de reparación y mantenimiento de los equipos, oficinas y servicios públicos, almacenamiento de combustible, entre otros.
- Implementar un control de monitoreo de las operaciones de producción, que permitan evaluar constantemente los objetivos establecidos y realizar ajustes cuando sea necesario.
- Diseñar una escombrera para la deposición de residuos generados durante la extracción de las arcillas a fin de garantizar la adecuada disposición de los materiales no deseados.
- Establecer medidas ambientales que disminuyan los impactos producto de la actividad minera.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La explotación de arcilla es un proceso crucial en diversos sectores industriales, ya que estas materias primas son utilizadas en la fabricación de cerámica, productos refractarios, materiales de construcción y otros muchos más. Al realizar un diseño de minas se busca

satisfacer la demanda de los diversos sectores y abastecer el mercado de manera eficiente y sostenible.

Venezuela cuenta con una gran cantidad de yacimientos de arcilla, lo que representa una ventaja competitiva. Además, la explotación de estos recursos puede impulsar la economía local y promover el desarrollo industrial en la región.

Al diseñar un plan de extracción, se deben establecer medidas para garantizar un proceso eficiente y minimizar los riesgos ambientales, incluyendo la implementación de técnicas de restauración de áreas afectadas, la gestión adecuadas de residuos y adoptar prácticas de producción sostenibles.

#### **1.4 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.**

En el diseño de minas para diversas canteras de arcillas en el estado Lara, se propone una producción mensual de 15.000 toneladas en cada una de ellas, junto con la combinación de equipos más favorables para las operaciones básicas, así como también la secuencia y distribución del proceso de extracción de la cantera, dando así un enfoque hacia la parte operativa dentro de la cantera de arcilla y sus actividades unitarias a ser ejecutadas.

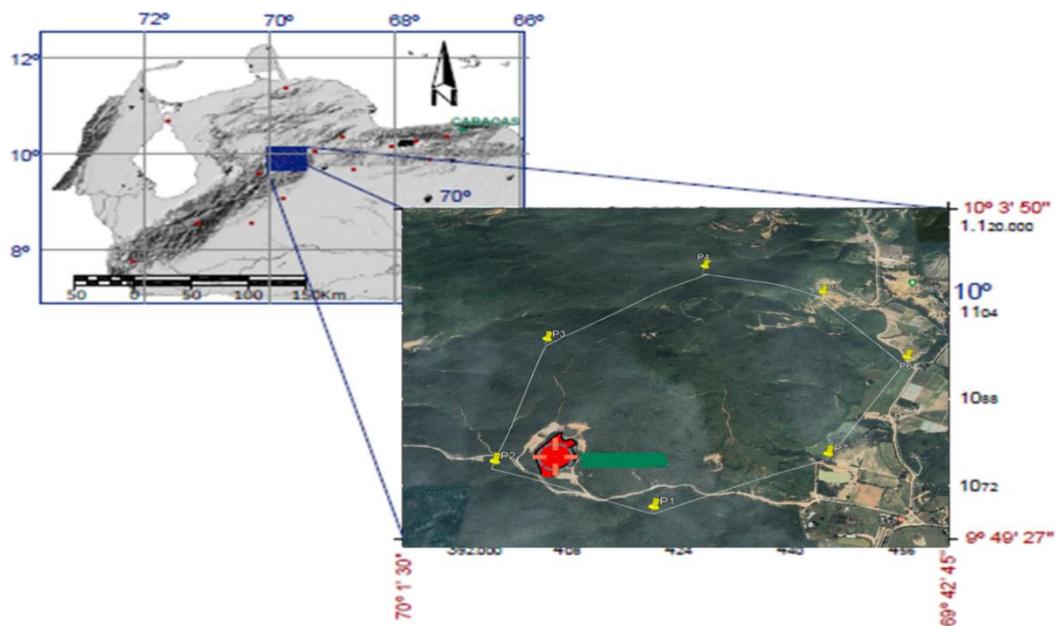
#### **1.5 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIOS**

El área en estudio Se localiza al noroeste del poblado Sanare, estado Lara. Está delimitado por el polígono de coordenadas siguientes como se muestra en la Tabla 1 y en la Figura 1.

**TABLA 1. COORDENADAS DEL ÁREA CARTOGRÁFICA.**

<b>AREA CARTOGRAFICA</b>		
<b>Punto</b>	<b>NORTE</b>	<b>ESTE</b>
1	1078922	422114
2	1079090	421789
3	1079813	421639
4	1080367	422246
5	1080190	422754
6	1079770	423070
7	1079201	422719

**Fuente: propia.**



**Figura 1. Ubicación de la zona de estudio. El polígono blanco delimita la zona de estudio. Polígono rojo delimita zona de perforación a escala 1:100.000 (Tomado y modificado de GARRITY et al. 2004).**

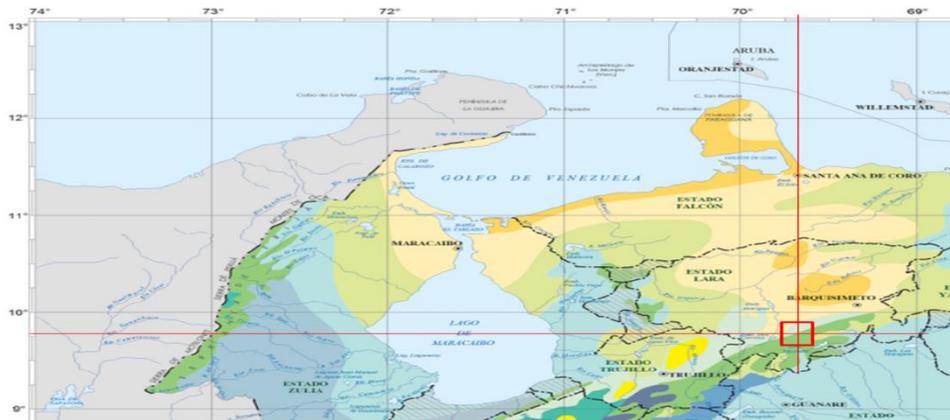
## **1.6 LINDEROS DEL ÁREA DE TRABAJO.**

Según datos obtenidos en campo y verificados por los estudios geofísicos realizados en el área de interés. El terreno abarca un área general de 70 Ha aproximadamente; sin embargo, el área bajo estudio a detalle fue establecido por los promotores del proyecto Arcillas blancas venezolanas “ABV” en 35 Ha, de las cuales se estudiaron 10 Ha, donde los mismo realizaron 15 perforaciones, dando como resultado 4 perforaciones donde se encontró la arcilla con el mejor potencial químico, por tal motivo se tomó un superficie de 2 Ha con el fin de detallar con más precisión ese sector, tal como se muestra en el polígono rojo en la figura 1, obteniendo un área aproximada de 28.585,00 m<sup>2</sup>.

## **1.7 CLIMA.**

Según el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar en la zona de estudio se encuentran principalmente 2 tipos climáticos de acuerdo a la clasificación de KOËPPEN (1948), la cual toma a las plantas como indicadores climáticos:

- Tropical de Sabana *Aw*: comprende dos períodos definidos, uno seco entre Diciembre y marzo y lluvioso el resto del año. Para este clima, la precipitación anual oscila entre 600 y 1.500 mm. En la zona se encuentran dos subdivisiones de este tipo climático, *Aw**i* de sabanas (herbazales) y bosques tropófitos semi-secos, y *Aw**'i* de sabanas (herbazales) y bosques tropófitos sub-húmedos (Figura 2).
- Semi-árido tropical *BSi*: es una subdivisión de los climas secos, los cuales se caracterizan por una evaporación mayor a la precipitación. Se caracteriza por la presencia de una vegetación xerófila o montes espinosos.



**Figura 2. Localización de la zona de trabajo sobre el mapa de Circulación Atmosférica y Tipos de Clima de Venezuela. Tomado del léxico estratigráfico.**

## 1.8 PRECIPITACIÓN.

La data de precipitación es medida por una institución en cada nación. En el País, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (en adelante Instituto) tiene esa responsabilidad; indican para el periodo 1986-2015 una precipitación anual de 842.3 mm; un máximo de 113,5mm en el mes de octubre y el mínimo, en enero con 16,4mm. Otra organización, ampliamente conocida es la NASA quien se vale del Servidor Giovanni (en adelante Giovanni); actualizó su data en 2021 (6 años más); la precipitación en el Sector no supera 1500 mm anuales desde 1981.

## 1.9 TIPO DE SUELO.

Según el Instituto Cartográfico de Venezuela Simón Bolívar el suelo se mantiene húmedo por más de nueve (9) meses al año y es del tipo Udepts, como se muestra en la Figura 3.

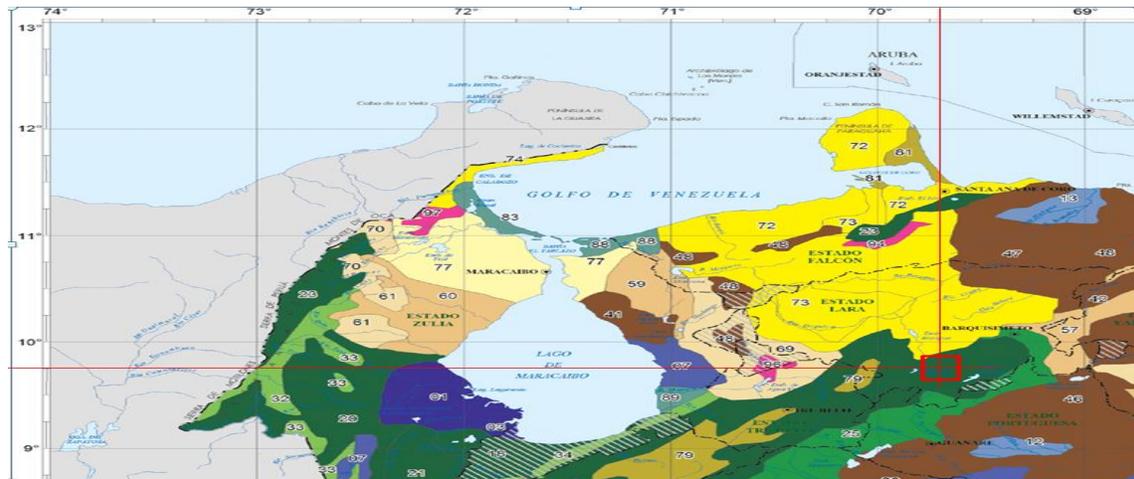


Figura 3. Tipo de suelo en el Sector. Tomado del léxico estratigráfico 2021.

## 1.10 HIDROGEOLOGÍA.

Está compuesta por dos materiales distintos, como se muestra en la figura 4. La de color verde con ladrillos corresponde a unas areniscas puras; y, otras con lutitas, y conglomerados, por otra parte (Figura 4), el de color azul claro corresponde: aluviones, arenas gravas y residual.

Está constituida por dos litologías. El área del mapa cubierta por ladrillos de color verde corresponde a calizas y areniscas con lutitas y pizarras; mientras que, en la zona de color azul imperan aluviones y arenas. Existen mezclas de diversos materiales, para este punto, se desconocen, por lo cual la permeabilidad y la porosidad no serán exactamente como las tabuladas. Como se muestra en la Tabla 2.

TABLA 2. DATOS HIDROGEOLÓGICOS DEL SECTOR DEL MAPA A ESCALA 1:2.500.000.

Material	Porosidad (%)	Porosidad eficaz (%)
Suelo	55	40
Arcilla	50	2
Arena	25	22

Grava	20	19
Caliza	20	18
Arenisca (semiconsolidada)	11	6

Fuente: propia. Datos obtenidos de Tarbuck y Ludgents (2008); y Lambe y Williams (1976).

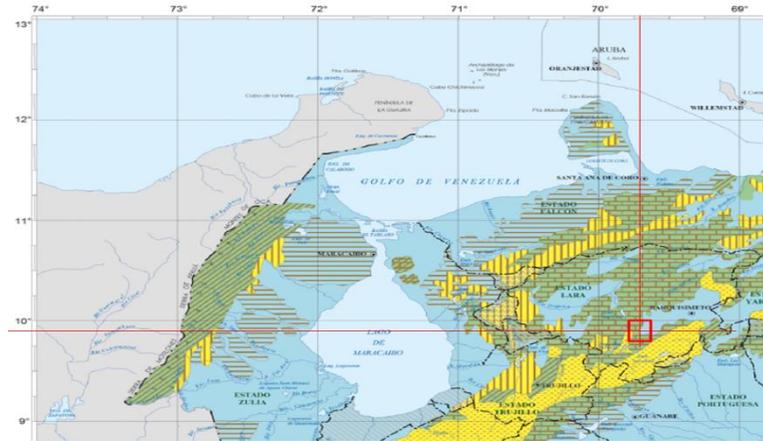


Figura 4. Hidrogeología de la zona de estudio. Tomado del léxico estratigráfico 2021.

### 1.11 VEGETACIÓN.

La vegetación predominante en la región bajo estudio consiste en cardonales y espinares típicos de las zonas áridas y caracterizadas por árboles de 4m a 6m de altura, predominando el Cují, el Dividivi, el Guayacán, el Cardón, la Tuna y otras especies espinosas.

### 1.12 METEORIZACIÓN Y EROSIÓN.

En esta región los procesos de erosión y meteorización son intensos lo cual se debe a la acción mecánica del agua, que a pesar de ser escasa la mayor parte del año, constituye un agente de acción intermitente pero efectivo en el modelado del terreno.

**CAPITULO II**

**MARCO GEOLÓGICO**

En este capítulo se expondrán la geología de la zona de estudio, donde se elabora el diseño para la extracción de arcilla.

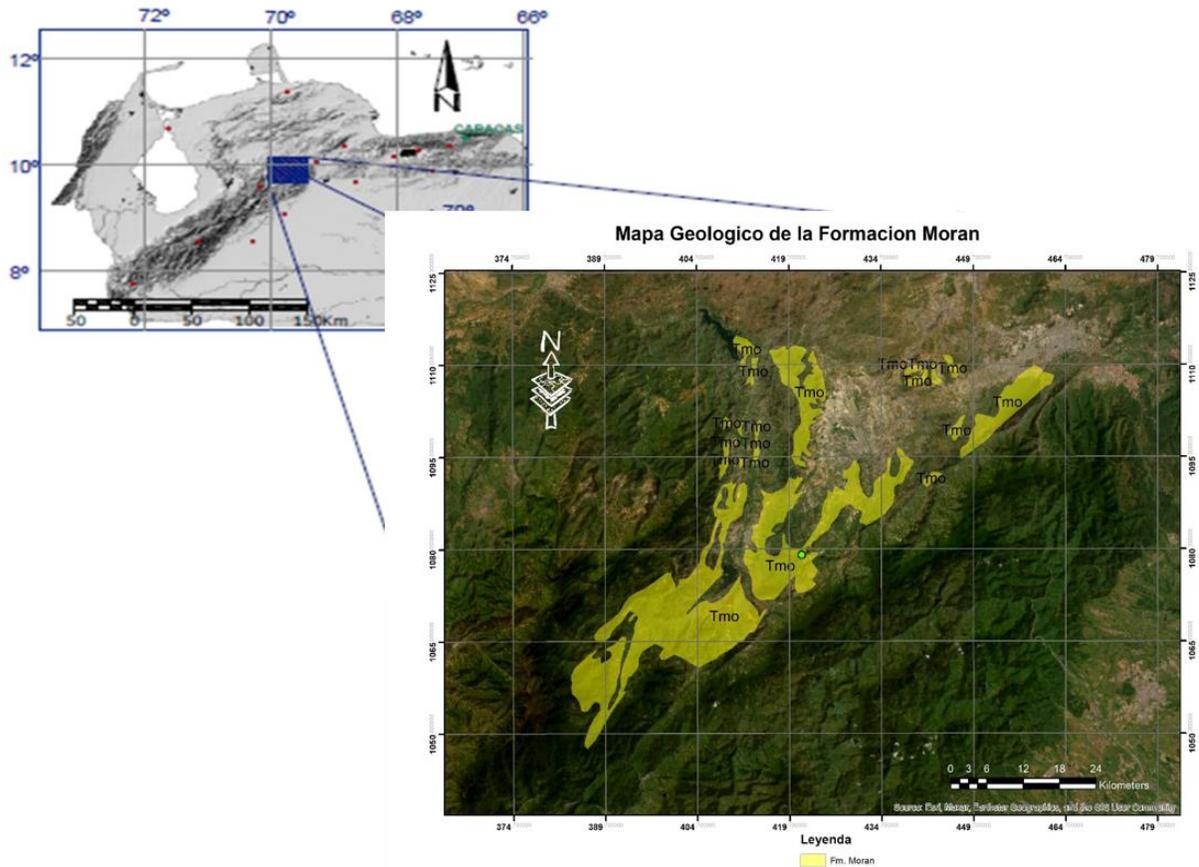
➤ **Formación Moran.**

Se constituye por rocas lutáceas, areniscas y pocas calizas. Se presume tuvo su origen a finales del cretácico y finalizó a mediados del Eoceno; son visibles a lo largo de las carreteras: Quíbor-El Tocuyo y El Tocuyo-Guárico. La geología estructural es compleja por la cercanía a la falla de Boconó (o Sanare, según los autores); diversos sistemas de corrimiento y traslación existen, así como de plegamientos, divide la litología de zona en 2: al sur, por las Capas de Río Guache y las lutitas de la Fm Villanueva; al norte, por las formaciones Morán y Cazaderos. (Von der Osten y Zozaya, 1957).

**Litología:** La formación Morán es lutácea en su mayor parte; las lutitas constituyen casi el 75% de la sección. Areniscas cuarcíticas, sub grauvacas y algunas calizas completan el resto de la secuencia estratigráfica.

**Edad:** la formación Morán representa la totalidad del Paleoceno y el Eoceno inferior y medio. La parte inferior de la formación Morán puede ser hasta de edad Cretáceo Superior extremo. (Periodos terciarios que abarca desde hace 65 ma hasta 37 ma).

**Extensión geográfica:** La unidad aflora en la parte sureste del estado Lara, desde el área de Barquisimeto hasta El Tocuyo. Posiblemente, esté presente en la región al oeste de Carora. Como se muestra en la Figura 5.



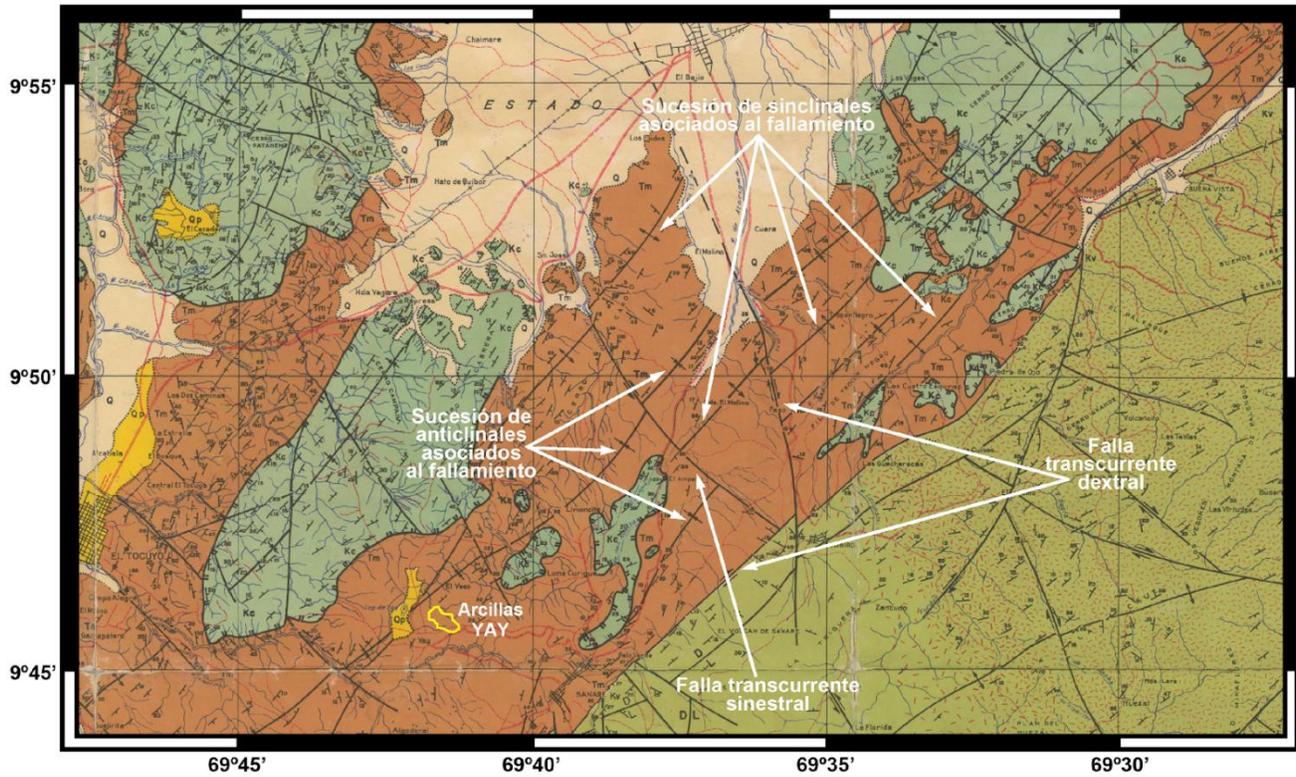
**Figura 5. Mapa Geológico de la formación Moran a escala 1:100.000. Lo amarillo representa la extensión de la formación. (Tomado y modificado de GARRITY et al. 2004).**

## **2.1. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.**

En la zona bajo estudio las estructuras están asociadas al evento compresivo ocurrido a finales del Eoceno y que se extendió hasta el Oligoceno – Mioceno, controladas a su vez por la actividad de la Falla de Boconó. En tal sentido se observan una sucesión de fallas transcurrentes dextrales con rumbo N50E (Figura 6) junto con sus fallas conjugadas ortogonales, tanto dextrales como sinestras, con rumbo N20O. La intersección y movimiento combinado de este sistema de fallamiento generó un conjunto de plegamientos en régimen compresivo que dio origen a una secuencia de sinclinales, junto con sus anticlinales asociados, todos con rumbo paralelo al sistema estructural principal, es decir, N50E. La orografía del lugar está controlada por el sistema sinclinal – anticlinal, generando

colinas alargadas en dirección Suroeste – Noreste con crestas redondeadas y pendientes abruptas en los flancos sometidos a fuertes procesos erosivos. El contacto entre las formaciones Barquisimeto y Villanueva, al Sur de Quibor, es en consecuencia un contacto de falla el cual controla la forma de los drenajes superficiales.

**Figura 6. Mapa geológico del área bajo estudio (Modificado de Von der Osten y Zozaya, 1957).**



**CAPITULO III**

**MARCO TEÓRICO**

### 3.1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

- **Fernández Suarez B. (2016) “Plan de Explotación y Restauración para reapertura de explotación Minera”**, en su Trabajo Final de Master realizo un análisis profundo de la geología de la zona, una caracterización del macizo rocoso (Calizas), para la definición de las características de los taludes del frente de explotación. Según la geotecnia del macizo rocoso, diseñaron las vías de la cantera, se revisó la infraestructura de la cantera e impactos del terreno asociado a la actividad extractiva. Posteriormente, expusieron las variables geométricas de la explotación para así definir el método adecuado para el tipo de yacimiento.
- **Prado Molina M. (2013) “Evaluación y Diseño de Explotación de un yacimiento de arcilla, parroquia Chiviaza, provincia de Morona Santiago”**, para la elaboración de este trabajo especial de grado, el autor realizo un estudio de impacto ambiental complementando datos recopilados propias del yacimiento para la selección adecuada de un sistema de explotación.
- **Ortega Cevallos P.(2012) “Diseño para la explotación de la cantera de arcilla, barrio Cera- Cantón Loja”**, en su tesis realiza el diseño para la explotación del yacimiento de arcilla del barrio Cera (Ecuador) y se calcula sus reservas; efectuándose de esta manera el reconocimiento del área de estudio, con el respetivo levantamiento topográfico y geológico, la ubicación y caracterización de afloramientos en base a los formatos de estudio, ubicación de los puntos de muestreo mediante GPS; y la descripción y caracterización de la estratigrafía de cada una de las calicatas aperturadas. Mediante el análisis de resultados se determinó que el sistema de explotación idóneo es el Método de Cantera.
- **Ortiz Gómez R. (2008) “Proyecto de explotación de una cantera de arcilla y posterior uso como vertedero de residuos inertes”**, el autor realizo un análisis de datos geológicos de la zona, levantamiento topográfico de la zona, revisión de las diferentes documentaciones que permitirían el desarrollo de la actividad minera,

análisis del impacto ambiental y revisión de las características físico-químico del yacimiento para así definir el sistema de explotación.

- **Fuentes Pacheco E. y Bohorquez Galvis I. (2006) “Diseño del Método de Explotación para la mina de arcilla Asoguayabal”**, en el proyecto se realizó un levantamiento topográfico del área de interés, toma de muestras para su posterior análisis de laboratorio para conocer las características físicas y mecánicas del terreno, analizaron la estabilidad de los taludes diseñados, identificaron y evaluaron los impactos ambientales generados por el desarrollo del proyecto.

### 3.2. BASES TEÓRICAS.

#### 3.2.1. Arcilla:

Con el término de arcillas se puede tener 4 definiciones:

- **Petrológica:** Arcilla es una roca sedimentaria, blanda, que se hace plástica al contacto con el agua, siendo frágil en seco, y con gran capacidad de absorción. Generalmente en la naturaleza encontramos las arcillas mezcladas con otros materiales como los limos, arenas (estas con alto contenido de cuarzo), humedad y material orgánico, todo este conjunto de materiales se denominan “material arcilloso”. Amethyst Galleries (2007).
- **Mineralógica:** arcillas son silicatos aluminicos hidratados (minerales secundarios) que provienen del intemperismo químico de los feldespatos. También existen arcillas de origen hidrotermal, que provienen de transformación mayormente de rocas magmáticas, ácidas e intrusivas, están frecuentemente asociados a filones. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, desde el rojo anaranjado hasta el blanco cuando es pura. Amethyst Galleries (2007).
- **Granulométricamente:** Las arcillas son los fragmentos naturales más finos (< 2 micras ó 1/ 256 mm). Como se muestra en la Figura 7.



**Figura 7. Arcilla Cuaternaria, Amethyst Galleries (2007).**

- **Físicamente:** las arcillas se consideran coloides (Figura 7), de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa. El diámetro de las partículas de la arcilla es inferior a 0,002 mm. Químicamente es un silicato hidratado de alúmina, cuya fórmula:  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Se caracteriza por adquirir plasticidad al ser mezclada con agua, y también sonoridad y dureza al calentarla por encima de 800 °C. La arcilla endurecida mediante la acción del fuego fue la primera cerámica elaborada por los seres humanos, y aún es uno de los materiales más baratos y de uso más amplio. Ladrillos, utensilios de cocina, objetos de arte e incluso instrumentos musicales como la ocarina son elaborados con arcilla. También se la utiliza en muchos procesos industriales, tales como en la elaboración de papel, producción de cemento y procesos químicos. Bailey, S. W. (1980).

### **3.2.2. Clasificación industrial de las arcillas.**

GARCÍA & SUAREZ (2003), se alejan de la clasificación mineralógica y plantean una clasificación por usos industriales de los minerales de la arcilla. Definen dos ramas según el destino último de su explotación:

- **Arcillas Cerámicas:** Representan el 90% de la explotación y su uso está destinado como material de construcción y agregados. Son generalmente arcillas compuestas por illita y esmectita con cantidades variables de otros minerales como podrían ser carbonatos o cuarzo.

- Arcillas especiales: Representan solo el 10% de la explotación, pero significan más del 70% del valor de las arcillas comerciales. Son arcillas mono minerales destinadas a la fabricación de papel, caucho, pintura, absorbente, producto químico, farmacéuticos y otros. Dentro de las arcillas especiales se esquematiza una segunda clasificación según su uso:
  - Caolines y arcillas caoliníferas: Utilizado principalmente en la industria del papel, también se emplea en la elaboración de cerámicas refractarias, otros usos lo encontramos en la industria química y en los cosméticos.
  - Bentonitas: Utilizado principalmente como lodo de perforación, absorbente, detergentes, industria de la pintura, agricultura. También tiende a emplearse como arena de moldeo.
  - Paligorskita-Sepiolita: Empleado en la industria de la agricultura como fertilizante, también es usado como absorbente y en aerosoles.
  - Otros tipos de arcillas especiales: en estas encontramos las halloysitas, hectoritas, ambas especies escasas en el mundo.

### **3.2.3. Levantamiento topográfico.**

Se entiende por levantamiento Topográfico al conjunto de actividades que se realizan en el campo con el objeto de capturar la información necesaria que permita determinar las coordenadas rectangulares de los puntos del terreno, ya sea directamente o mediante un proceso de cálculo, con las cuales se obtiene la representación gráfica del terreno levantado, el área y volúmenes de tierra cuando así se requiera. Torres y Villate (2001) lo resumen como el proceso de medir, calcular y dibujar para determinar la posición relativa de los puntos que conforman una extensión de tierra.

#### **3.2.4. Equipo topográfico.**

La estación total es el instrumento que integra en un sólo equipo las funciones realizadas por el teodolito electrónico. Este es un medidor electrónico de distancias y un microprocesador para realizar los cálculos que sean necesarios para determinar las coordenadas rectangulares de los puntos del terreno. Según, Torres y Villate (2001).

El modo de operar una estación total es similar al de un teodolito electrónico. Se comienza haciendo estación en el punto topográfico y luego se procede a la nivelación del aparato. Para iniciar las mediciones es necesario orientar la estación total previamente al norte-sur, para lo cual se requiere hacer estación en un punto de coordenadas conocidas o supuestas y conocer un azimut de referencia, el cual se introduce mediante el teclado.

Para la medición de distancias, el distanciómetro electrónico incorporado a la estación total calcula la distancia de manera indirecta en base al tiempo que tarda la onda electromagnética en viajar de un extremo a otro de una línea y regresar. La estación total es utilizada tanto en levantamientos planimétricos como altimétricos, independientemente del tamaño del proyecto. Los levantamientos realizados con este instrumento son rápidos y precisos, el vaciado de los datos de campo está libre de error. El cálculo se hace a través del software y el dibujo es asistido por computadora lo cual garantiza una presentación final del plano topográfico, en un formato claro y pulcro.

#### **3.2.5. Recurso mineral.**

Es una concentración u ocurrencia de material de interés económico intrínseco, en o sobre la corteza terrestre, en forma y cantidad en que haya probabilidades razonables de una eventual extracción económica. La ubicación, cantidad, ley, características geológicas y continuidad de un Recurso Mineral son conocidas, estimadas o interpretadas a partir de evidencia y conocimientos específicos geológicos. Los Recursos Minerales se subdividen, en orden de confianza geológica ascendente, en categorías de Inferidos, Indicados y Medidos.

### 3.2.5.1. Clasificación de los Recursos.

Para la discusión de este punto emplearemos las definiciones adoptadas por el U.S. Bureau of mines y el U.S. Geological Survey (Figura 8). El principal concepto que se debe manejar, es la diferencia entre recurso y reserva. Recurso es una concentración de material, de ocurrencia natural, que es potencialmente apto para ser extraído con forma económica. Reserva es una parte del recurso que puede ser económicamente extraído en el momento presente.

- **Reserva Minera:** Es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Medido o Indicado. Incluye dilución de materiales y tolerancias por pérdidas que se puedan producir cuando se extraiga el material. Se han realizado las evaluaciones apropiadas, que pueden incluir estudios de factibilidad y contemplan la consideración de factores razonablemente de extracción, metalúrgicos, económicos, de mercados, legales, ambientales, sociales y gubernamentales. Estas evaluaciones demuestran, que para el momento de ser realizadas, podría justificarse razonablemente la extracción del mineral. Las Reservas Mineras se subdividen, en orden creciente de confianza, en Reservas Probables y Reservas Probadas. Nótese que la definición de Reservas Posibles ha caído en desuso, debido a que los códigos no autorizan declarar reservas que provienen de recursos geológicos inferidos, como se muestra en la Figura 8.



**Figura 8. Clasificación de recursos por el U.S. Bureau of mines y el U.S. Geological Survey. Tomado de Plata 2013.**

Según la Clasificación de los recursos minerales utilizada por el U.S. Bureau of Mines y el U. S. Geological Survey (USA), los recursos y reservas de un yacimiento pueden ser clasificadas como Reservas demostradas que a su vez podemos desglosar en:

- **Recursos Medidos:** También denominados Reservas Probadas. Son aquello cuyo tonelaje se calcula usando como base los resultados obtenidos de los trabajos de muestreo y sondajes. Los estudios permiten establecer matemáticamente la geometría de la reserva, su volumen y la ley del mineral, por lo que se indica que se tiene certeza de su continuidad. Este tipo de recurso está caracterizado por un alto grado de confiabilidad; los valores considerados para el tonelaje, tenor o ley, no deben sobrepasar un margen del 20%.
- **Recursos Indicados:** También denominados Reservas Probables. Volumen de mineral que se calcula en base a información menos exhaustiva que en el caso de las reservas probadas. Tanto la geometría, el volumen de mineral y la ley han sido definidos por el análisis de muestras, proyecciones e interpretaciones geológicas razonables o a partir de estudios preliminares, por lo que se indica que existe riesgo de discontinuidad. El grado de confiabilidad es menor que en los recursos medidos.

- **Recursos Inferidos:** También denominadas Reservas Posibles. Son aquellas en las cuales las estimaciones están basadas en conocimientos generales de la geología de la región y están fundados sobre una supuesta continuidad de depósitos conocidos de tipo similar. El grado de confiabilidad es muy bajo.

Existen básicamente dos grupos de métodos a la hora de estimar los recursos de un yacimiento: los que se suelen llamar métodos geométricos o clásicos y los denominados métodos geo-estadísticos (López 2000).

### 3.2.6. Método de estimación de recurso.

Rivadeneira (2010). Los métodos clásicos desarrollados y empleados desde los mismos comienzos de la minería, se basan fundamentalmente en los principios de interpretación de las variables entre dos puntos contiguos de muestreo, lo que determina la construcción de los bloques geométricos a los que se le asignan las leyes medias para la estimación de recursos. Características:

- Son métodos sencillos.
- Se basan en criterios meramente geométricos.
- Están siendo superados progresivamente por los métodos modernos.
- Son aún aplicables en muchas situaciones tales como:
  - No existe suficiente información de exploración.
  - La variabilidad es extrema.
- No existe suficiente información de exploración.

La variabilidad es extrema. Los principios de interpretación de estos métodos son los siguientes:

- El principio de los cambios graduales presupone que los valores de una variable (espesor, ley, etc.) varían gradual y continuamente a lo largo de la línea recta que une 2 puntos de muestreo contiguos.
- El principio de vecinos más cercanos admite que el valor de la variable de interés en un punto no muestreado es igual al valor de la variable en el punto más próximo.

- El último de los principios permite la extrapolación de los valores conocidos en los puntos de muestreo a puntos o zonas alejadas sobre la base del conocimiento geológico o por analogía con yacimientos similares.

Todos estos principios de interpretación son utilizados para la subdivisión del yacimiento mineral en bloques o sectores, los cuales son evaluados individualmente y posteriormente integrados para determinar los recursos totales del yacimiento. Su desarrollo general a seguir es el desarrollo general a seguir es el siguiente:

- Cálculo de volúmenes de bloques en los que se subdivide el cuerpo mineralizado, según diversos métodos.
- Estimación de densidades medias.
- Estimación de leyes medias.
- Cálculo de cantidad de metal.
- Cálculo de recursos totales.

Tipos de Métodos clásicos:

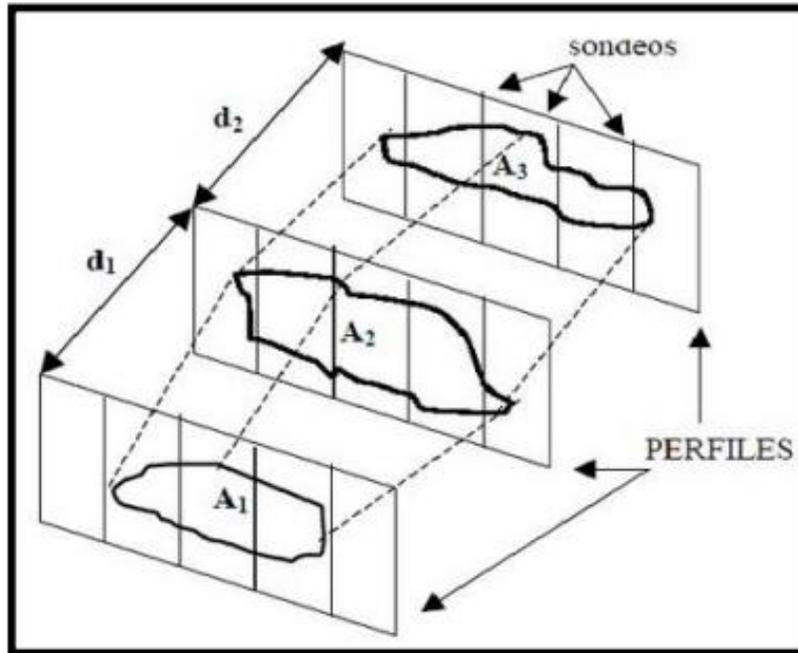
- Media aritmética.
- Bloques geológicos.
- Bloques de explotación.
- Perfiles.
- Polígonos.
- Triángulos.
- Inverso de la distancia.

Para el cálculo de los recursos, se utilizó el método de los perfiles.

### **3.2.7. Métodos de los perfiles.**

El método de estimación mediante cortes o perfiles consiste en trazar perfiles verticales del yacimiento y calcular los volúmenes de los bloques delimitados por los perfiles. Se usa cuando se tienen cuerpos mineralizados de desarrollo irregular y que han sido estudiados mediante sondeos, distribuidos regularmente de forma que permiten establecer cortes o perfiles en los que se basa el cálculo de los recursos. El área de la sección del cuerpo

mineralizado interceptado por cada perfil se puede calcular por varios métodos (planímetro, regla de Simpson, etc.). Según Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2011) (SNMPE) (Véase, Figura 9).



**Figura 9. Método de los perfiles. Tomado de SNMPE, 2011.**

- Construcción de los perfiles.
  - Perpendiculares a la máxima longitud del yacimiento.
  - Paralelos entre sí.
  - Se construyen a partir de datos de sondeos.
  - Distanciados rectangularmente.
  - Perfiles intermedios por las peculiaridades locales.
  - Se pueden proyectar.
  
- La metodología de cálculo en este caso es la siguiente:
  - Contornear el cuerpo mineral (contorno interno y externo) en el plano.
  - Se dibujan los perfiles a una escala dada, incluyendo en los mismos los resultados del contorno.

- Se calculan las áreas en los perfiles por su semejanza con figuras geométricas sencillas.
- Se calculan los volúmenes entre perfiles utilizando las siguientes fórmulas:

Ecuación 1.

$$V_{i-ii} = \frac{S1+S2}{2} \times L$$

Dónde:

S1 y S2 áreas de los perfiles contiguos.

L: distancia entre perfiles.

### **3.2.8. Métodos de explotación.**

Según Herbert (2006), el método minero a un proceso iterativo tanto desde el punto de vista temporal como espacial, permite llevar a cabo la explotación minera de un yacimiento por medio de un conjunto de sistemas, procesos y máquinas que operan de una forma ordenada, repetitiva y rutinaria.

En principio tan solo existen tres métodos, en su sentido más amplio, que son:

- El método de explotación por minería a cielo abierto.
- El método de explotación por minería de interior o minería subterránea.
- El método de explotación por sondeos.

Por las características del yacimiento de arcilla se empleara el método de explotación por minería a cielo abierto, ya que Herbert (2006), establece que 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.

- **Alternativas de explotación**

Según chacón (1990), En Minería de Superficie, se utilizan cuatro métodos o alternativas de explotación, que son:

- **Tajo Abierto (Open Cut):** El método de Tajo abierto (open cut), se utiliza en aquellos yacimientos que se encuentran en forma de bolsada y en vetas inclinadas, en zonas cuya topografía es bastante irregular (cerros). Como se muestra en la Figura 10.



**Figura 10. Mina Contour cerca de Middlesboro, Kentucky Fuente: División de Permisos de Minas de Kentucky.**

- **Fosa Abierta (Open Pit):** El método de fosa abierta (open pit), se utiliza también como en el caso anterior, en yacimientos en forma bolsada y en vetas inclinadas, pero en zonas cuya topografía es bastante suave, tipo planicies. Como se muestra en la Figura 11.



**Figura 11. Mina a cielo abierto, Wyoming Fuente: BLM.**

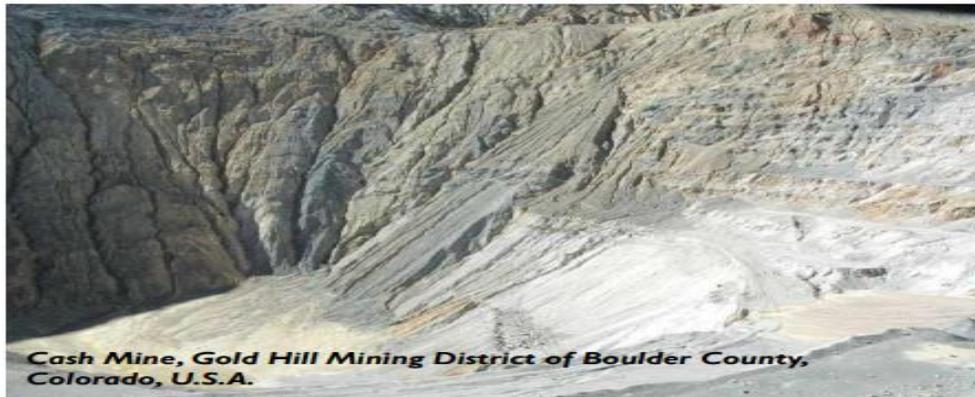
- **Explotación en tiras (Stripping Mine):** El método de explotación en tiras (stripping mine), se utiliza en aquellos yacimientos que se encuentran en capas o vetas horizontales, en los cuales, primero se remueve o desmonta el recubrimiento por el método de tiras (niveles o bancos de explotación). Una vez despejada la capa o veta mineralizada, se comienza su explotación por este mismo método. Como se muestra en la Figura 12.



**Figura 12. Stripping mine de Powder River, Wyoming. Fuente: USGS.**

- **Explotación Combinada Superficie-Subterráneo (Glory Hole):** El método combinado (glory hole), se utiliza en aquellos yacimientos que se encuentran

aflorando en zonas cuya topografía presenta relieves muy pronunciados; cerros casi verticales, donde se hace difícil el ataque al yacimiento por los métodos de Minería de Superficie, utilizando para ello, pozos y galerías (Minería Subterránea) que sirven de acceso al yacimiento y para descarga y transporte del mineral. Como se muestra en la Figura 13.



**Figura 13. Mina Cash, distrito minero Gold Hill del condado de Boulder, Colorado, EE. UU.**

**Fuente: USGS**

- Una vez definido el método de explotación, se prosigue a definir el tipo de sistema de explotación (terrazas), debido a que el material arcilloso es empleado en la industria cementera. El sistema a utilizar es el de terrazas (descendentes), tal como se puede apreciar en la Figura 14. Este sistema se basa en una minería de banqueo con avance unidireccional. Se aplica en yacimientos relativamente horizontales, de uno o varios niveles mineralizados y con recubrimientos potentes. Como se muestra en la Figura 14.

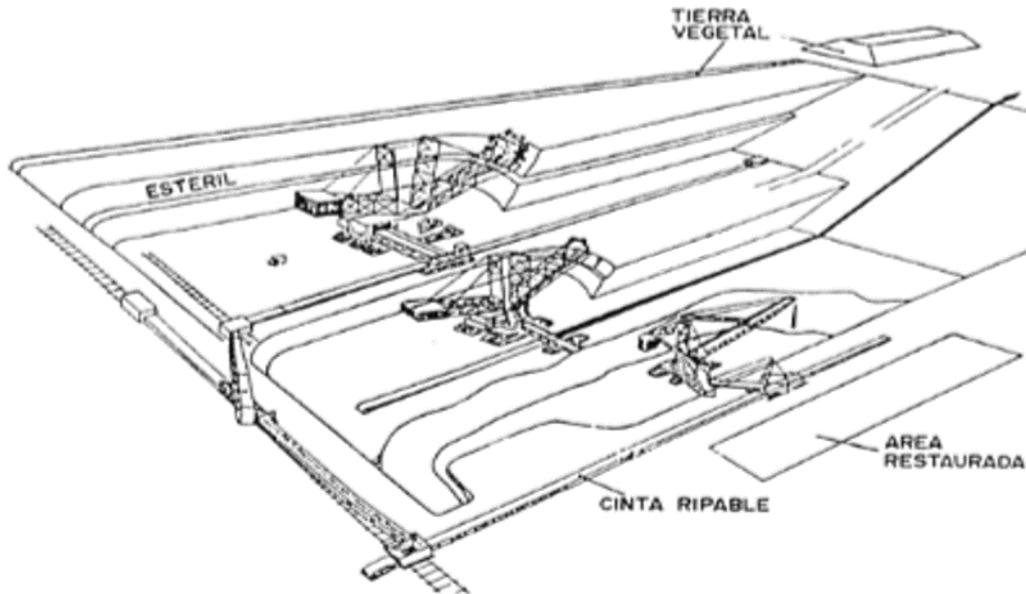


Figura 14. Explotación a cielo abierto de áridos. Tomado de Herbert (2006).

### 3.2.9. Operaciones básicas en minería a cielo abierto.

Bustillo y López (2000), plantean que el ciclo de explotación minera se puede definir como la sucesión de fases u operaciones básicas aplicadas tanto al material estético como al mineral. Según las condiciones del proyecto que se esté llevando a cabo, existirán o no otras operaciones auxiliares de apoyo cuya misión es hacer que se cumpla con la mayor eficiencia posible las operaciones básicas pertinentes.

Las fases que engloban el ciclo minero son, generalmente las siguientes: arranque, carga, transporte y vertido.

- **Arranque:** el arranque es por necesidad, la primera de las operaciones para el movimiento de los materiales y consiste en fragmentar estos a un tamaño adecuado para uso posterior manipulación por los equipos de fases subsiguientes.

La fragmentación de la roca puede efectuarse fundamentalmente por dos métodos bien definidos: Indirectos, es decir por medio de la energía liberada por los explosivos colocados en el interior de los macizos rocosos dentro de barrenos, y directos, por la acción mecánica de una herramienta montada sobre un equipo.

Debido a la dureza de las arcillas en la zona de estudio, se emplea la fragmentación por el método indirecto.

- **Carga:** La carga consiste en la recogida del material ya fragmentado para depositarlo seguidamente, en la mayoría de los casos sobre otro equipo o sobre una instalación adyacente. A continuación, se presentan varios aspectos a considerar en esta operación.
- **Transporte:** El transporte es la fase que posee en la actualidad una mayor repercusión económica sobre el ciclo de explotación, que puede cifrarse entre el 40 y el 60 % del costo total e incluso de la inversión en equipos principales. Se basa en extracción o desplazamiento de los diferentes materiales hasta las plantas de procesamiento, en el caso de los minerales, o hasta los vertederos, en el caso de los estériles.

### 3.3. PLAN DE TRABAJO EN UN PERIODO DE TIEMPO.

En el desarrollo de planes secuenciales de explotación de material, se establece cierta metodología, que permita obtener un avance acorde a los requerimientos de la mina. Basado en eso se puede considerar lo siguiente. Hustrulid (2006):

- La mayor parte del desarrollo de explotación, se realiza con los mapas del plan o de banqueo los cuales muestran.
- Topografía o superficie de contorno.
- Ubicación de mineral.
- Límites geológicos.
- Límites de diseño.

Los mapas que presentan las fases finales por periodos de explotación, muestran la forma de la mina al final de cada período y deben mantener la secuencia y siguientes consideraciones:

- Evitar conflictos entre las características del plan.
- Proporcionar un panorama de los accesos en cada etapa del desarrollo.
- Ilustrar la vertiente de trabajo, sala de funcionamiento real y la relación espacial entre el mineral y los residuos.

A medida que los contornos de banco se han trazado, se muestra los caminos de acarreo, áreas y parte de los vertederos de residuos. En este sistema se identifica en base a la elevación, como se menciona a continuación:

- Fuera del pozo, los contornos están etiquetados con sus verdaderas elevaciones en el interior de la fosa:
  - Las elevaciones marcadas se refieren a las elevaciones del pie de banco.
  - Las elevaciones de líneas centrales de banco son la mitad de la altura del banco encima de la elevación del pie del banco.
  - En las rampas, las líneas centrales del banco cruzan la mitad rampa entre banca.

En una mina operativa, habrá diversos planes que cubren períodos diferentes de explotación, en ellas, el personal de ingeniería es generalmente responsable de realizar las siguientes actividades:

- Estimación de recurso de mineral anual.
- Los planes anuales o plurianuales con respecto a la progresión de la fosa, los cambios en los caminos de acarreo, entre otros.
- Planes trimestrales.
- Planes mensuales.

El personal operativo se encarga en desarrollar:

- Planes semanales.
- Planes diarios.
- en el marco de más alcance.

### **3.4. SELECCIÓN DE EQUIPOS MINEROS.**

Etapas principales en la selección de equipos mineros, según Chacón, 1991.

El proceso o actividad de la selección de equipo minero está estructurado en los siguientes pasos:

- Elección del tipo de equipo requerido; por ejemplo: pala o cargadores frontales, camiones o tractor escarificador.
- Cantidad y tamaño del equipo; por ejemplo: 4 camiones de 20 Ton.

- Tipo específico de equipo, por ejemplo: palas, si son eléctricas o diésel, camiones articulados o rígidos.
- Licitación de acuerdo con especificaciones del equipo, tomando en cuenta lo siguiente:
  - consideraciones de operación del equipo y
  - consideraciones de mantenimiento del equipo.
- Selección de la fábrica del equipo.

### 3.4.1. Equipo de Carga.

Los equipos de carga son muy variados (López, 2000) ya que pueden realizar la carga y acarreo también conocido como sistema continuos y en otros el acarreo es independiente de la carga o sistema discontinuos del material desde el frente de explotación.

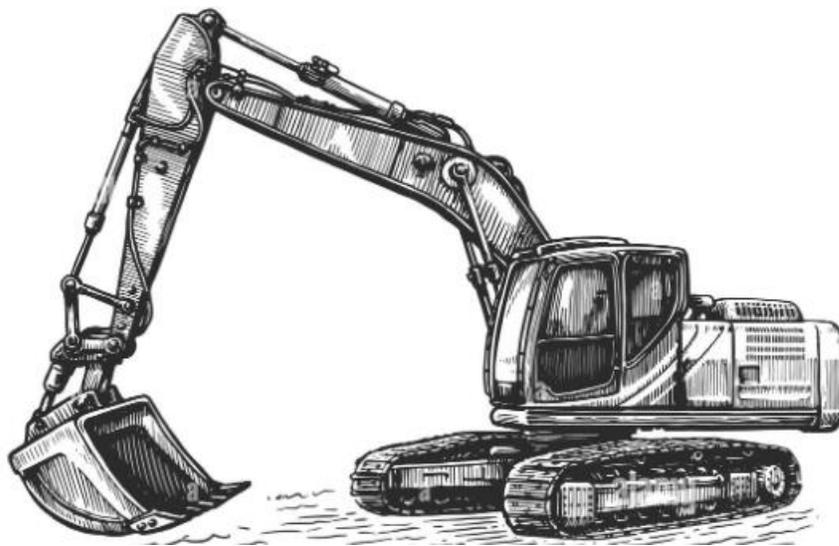
Los equipos más usados para la carga continua tenemos las rotopalas, Minadores y monitores hidráulicos y de carga discontinua los tractores de orugas, excavadoras de cable, excavadoras hidráulicas, palas cargadoras, dragalinas y mototraíllas.

- Cargador frontal: Unidades de ruedas o cadenas dotadas de un cucharón en la parte delantera, son equipos muy versátiles, utilizados en funciones de carga y transporte fundamentalmente, tanto en obras públicas como en minería. Como se muestra en la Figura 15.



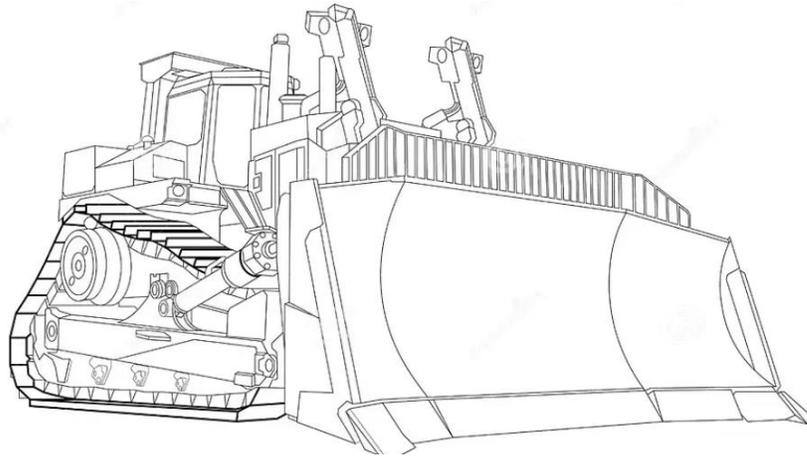
Figura 15. Cargador frontal. Tomado de Google imágenes.

- Retroexcavadora y/o excavadora hidráulicas: Se denomina pala excavadora a una máquina autopropulsada, sobre neumáticos u orugas, con una estructura capaz de girar al menos 360° (en un sentido y en otro y de forma ininterrumpida) que excava terrenos, o carga, eleva, gira y descarga materiales por la acción de la cuchara, fijada a un conjunto formada por pluma y brazo o balancín sin que la estructura portante o chasis se desplace. Como se muestra en la Figura 16.



**Figura 16.** Excavadora hidráulica sobre orugas. Tomado de Google imágenes.

- Tractores: Además de sus otros múltiples usos en los servicios de la mina, los tractores o bulldozers pueden ser utilizados en el arranque y empuje del material más superficial hasta el borde del banco en sistema de arranque y transporte. También, como una máquina de arranque, se puede utilizar empleando el ripper o escarificador, arrancando y extrayendo las rocas más débiles y superficiales en donde la voladura no fuera necesaria. La distancia límite económica de arranque y arrastre con tractor suele estar en unos 150 metros generalmente. . Como se muestra en la Figura 17.

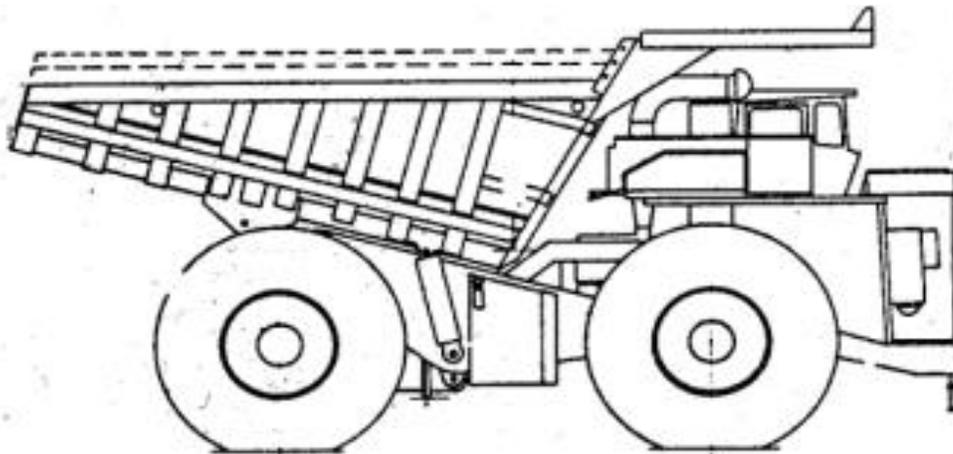


**Figura 17. Tractor sobre orugas. Tomado de Google imágenes.**

### **3.4.2. Equipos de acarreo.**

Dentro del conjunto de los equipos de transporte, se pueden clasificarse, según su diseño y modo operativo Portal Minero (2006):

- Camión convencional: Son unidades generalmente de dos ejes (uno de dirección y otro motriz) y de tres ejes en los de mayor capacidad o en las unidades pequeñas articuladas (un eje de dirección y dos motrices). . Como se muestra en la Figura 18.



**Figura 18. Camión minero de 2 ejes. Tomado de Google imágenes.**

- Camión articulado: Vehículo usado generalmente para transportar cargas pesadas, usualmente en terrenos difíciles de complejo acceso. Tiene la capacidad de soportar cargas de hasta 40 toneladas de peso, lo que explica su popularidad. Como se muestra en la Figura 19.



**Figura 19. Camión articulado. Tomado de Google imágenes.**

### **3.4.3. Maquinaria auxiliar**

La flota de equipos que se utiliza en las labores de conservación e, incluso, apertura de pistas, está formada por las siguientes maquinas:

- Motoniveladoras: Para el extendido de materiales de aportaciones y perfilado de las superficies de rodadura. Véase en la Figura 20.



**Figura 20. Motoniveladora. Tomado de Google imágenes.**

- Camión cisterna: para eliminar el polvo de las pistas manteniendo el grado de humedad y/o cohesión de los materiales superficiales. Como se muestra en la Figura 21.



**Figura 21. Camión cisterna. Tomado de Google imágenes.**

- Vehículo todo terreno: para la inspección y supervisión del estado de las pistas. En la Figura 22, se observa un vehículo todo terreno

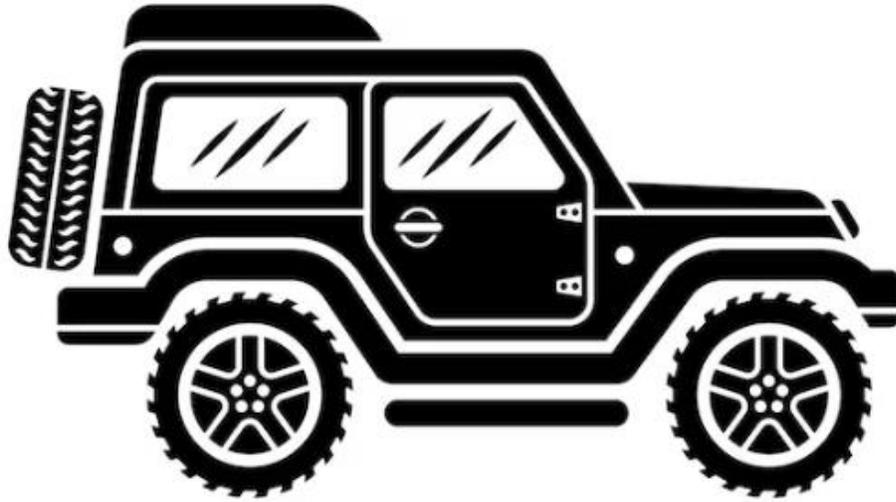


Figura 22. Vehículo todo terreno. Tomado de Google imágenes.

#### **3.4.4. Operación unitaria de los camiones**

Las operaciones básicas que se realizan con los camiones es el transporte del material. Proceso mediante el cual se inicia el movimiento y desplazamiento de material de un lugar a otro mediante el uso de equipos que llevaran el material a los patios de acopio.

#### **3.4.5. Versatilidad operacional y tipos de unidades**

- Los cargadores están capacitados para efectuar las siguientes operaciones.
- Carga de camiones tolva, vagones de tren o tolvas fijas.
- Carga y transporte, reemplazando en distancias cortas el empleo de camiones tolva.
- Desde el frente de trabajo hasta el punto de vaciado.
- Desde un stock de material hasta la planta de tratamiento.
- Como máquina auxiliar: puede trabajar en limpieza de frentes o lugares de trabajo, preparación de rampas, apertura de pistas de transporte en laderas de cerros, etc.
- Como máquina de empuje, sustituyendo a los tractores sobre orugas.

### 3.5. CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE UNA EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO

Bustillo y López (1997) plantean que al momento de proyectar una mina a cielo abierto se deben tener en cuenta cuatro grupos de parámetros los cuales son:

- Geométricos: Función de la estructura y morfología del yacimiento, pendiente del terreno, límites de propiedad, entre otros.
- Geotécnicos: Dependientes de los ángulos máximos estables de los taludes en cada uno de los dominios estructurales en que se haya dividido el yacimiento.
- Operativos: Dimensiones necesarias para que la maquinaria empleada trabaje en condiciones adecuadas de eficiencia y seguridad: alturas de banco, anchuras de berma y pistas, anchuras de fondo.
- Medioambientales: Aquellos que permiten la ocultación a las vistas de los huecos o escombreras, faciliten la restauración de los terrenos o la reducción de ciertos impactos ambientales.

La Figura 23 muestra los principales parámetros geométricos que configuran el diseño de una explotación a cielo abierto

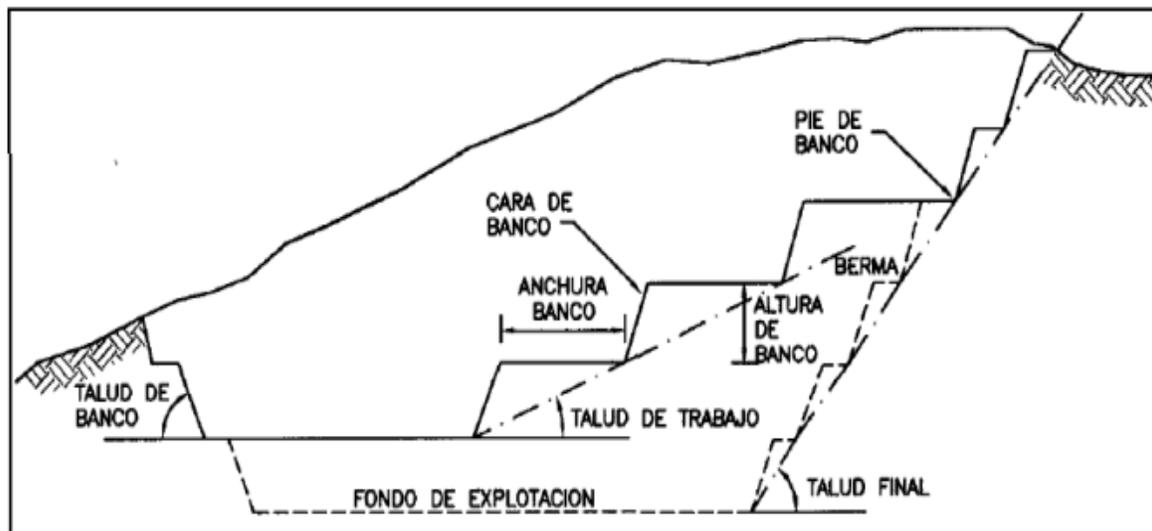


Figura 23. Parámetros geométricos que configuran el diseño de una explotación a cielo abierto.

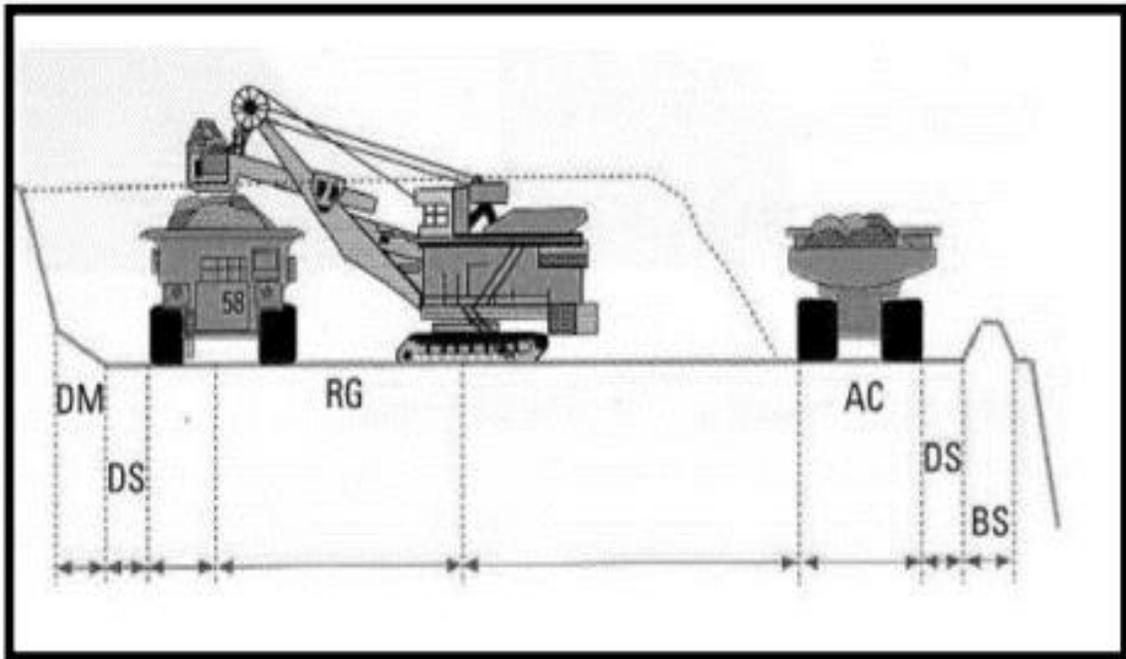
Fuente: Bustillo y López. (1997).

A continuación, se definirán los parámetros involucrados en la Figura 23.

- **Banco:** Es el módulo o escalón comprendido entre dos niveles que constituyen la rebanada que se explota ya sea de estéril o mineral.
- **Altura de banco:** Es la distancia vertical entre dos niveles; se mide desde el pie del banco hasta la parte más alta del mismo.
- **Bermas:** Son estructuras horizontales que se dejan de manera permanente en las paredes finales de la fosa final para mejorar la estabilidad y seguridad del mismo. A diferencia del banco, que es una terraza operativa y que varía con la vida de la mina, la berma es permanente y se establece en la fosa final.
- **Ángulo de berma:** Es el ángulo más pequeño, que se forma entre la horizontal y la pared de la berma.
- **Ancho de berma** Se refiere al ancho de la berma. Considerando elementos de geotecnia y recuperación ambiental de mina, el ancho de berma normalmente mide lo suficiente para poder realizar ciertas actividades de recuperación ambiental para el cierre de mina; por ejemplo, reforestación del talud, mejoramiento del drenaje de la fosa final entre otros.
- **Talud de Banco:** Es el ángulo delimitado entre la horizontal y la línea de máxima pendiente de la cara del banco. Talud de Trabajo Es el ángulo determinado por los pies de los bancos entre los cuales se encuentra alguno de los tajos o plataformas de trabajo. Por lo tanto, es una pendiente provisional de la excavación.
- **Pistas:** Son estructuras a través de las cuales se extrae el mineral y el estéril, o se efectúan los movimientos de equipos y servicios entre diferentes puntos de la misma. Se caracterizan por su ancho y su pendiente en una disposición espacial determinada.
- **Rampas de acceso:** Constituyen las vías o caminos que se emplean para cumplir diversas actividades operativas de la mina, principalmente el acarreo de material desde los frentes de explotación a las plantas de procesamiento. Las anchuras son pequeñas, y las pendientes son superiores a las de las pistas.
- **Talud final de la explotación:** Es el ángulo del talud estable delimitado por la horizontal y la línea que une el pie del banco inferior y la cabeza del superior.

- Ancho operativo:** La anchura mínima de banco de trabajo es la suma de los espacios necesarios para el movimiento de la maquinaria que trabaja en ellos simultáneamente, (Véase, Figura 24). Los tres procesos básicos que tienen lugar en el interior de una explotación: perforación, carga y transporte y que pueden o no simultanearse en el mismo banco. La medida correspondiente a la perforación depende del área que ocupe la máquina perforadora, que en el caso de ejecutar barrenos verticales, pues solo ocupara la mitad de su ancho operativo de su ancho detrás de la última fila al poder situarse longitudinalmente en el banco y la anchura de la voladura proyectada. Siempre será necesario dejar la orden de 1,5 m, como ancho de seguridad (S) hasta el banco. Se calcula con lo siguiente:

**Ecuación 2.** Ancho mínimo de operación =  $BS + 2 \times DS + AC + 2 \times RG + DM$



**Figura 24.** Elementos del ancho mínimo de operación. Tomado de Portal Minero, 2006.

Donde;

- BS: Berma de seguridad.
- DS: Distancia de seguridad.
- AC: Ancho del camión.
- RG: Radio de giro del equipo de carga.

- DM: Derrame de material.

### 3.6. MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.

Los métodos de análisis de estabilidad se basan en un planteamiento físico-matemático en el que intervienen las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras que actúan sobre el talud y que determinan su comportamiento y condiciones de estabilidad, se tiene el método determinístico y método probabilístico, Véase en la Figura 25.

Por efectos del trabajo de investigación se usa el método determinístico el cual contempla lo siguiente, conocidas o supuestas las condiciones en que se encuentra un talud, estos métodos indican si el talud es o no estable. Consisten en seleccionar los valores adecuados de los parámetros físicos y resistentes que controlan el comportamiento del material para, a partir de ellos y de las leyes de comportamiento adecuadas, definir el estado de estabilidad o el factor de seguridad del talud. Existen dos grupos: métodos de equilibrio limite y método tenso-deformacionales. Vallejo. L, (2002).

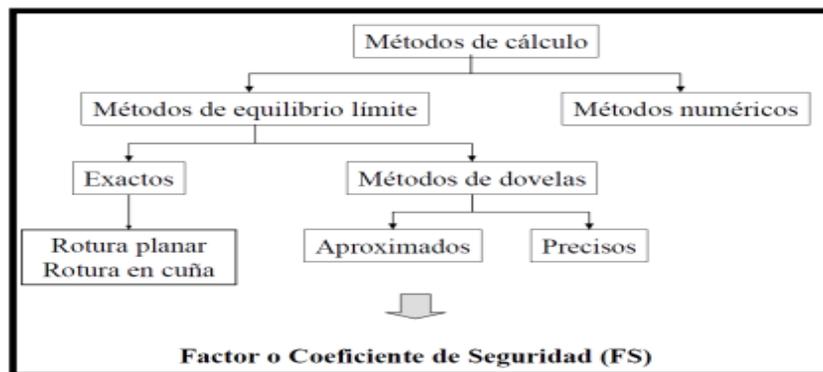


Figura 25. Métodos para el cálculo de la estabilidad de taludes. Tomado de AIME.

Los factores más importantes que afectan a la seguridad de las operaciones son los siguientes:

- Caída o deslizamiento de materiales sueltos.
- Colapso parcial de un banco.
- Colapso general del talud de la excavación.

Las recomendaciones con relación al control y eliminación de tales riesgos implican la adopción de las siguientes medidas:

- Diseño adecuado de bancos y plataformas para retener los desprendimientos de materiales.
- Determinación y mantenimiento adecuado de los taludes generales seguros.
- Control de voladura en el perímetro de excavación de cara a reducir los daños en el macizo remanente.
- Aplicación de sistema de drenaje de los macizos para reducir los esfuerzos originados por el agua.
- Saneamiento sistemático y efectivo de materiales colgados.

Los estudios previos necesarios para realizar el diseño geotécnico de un talud estable implican una caracterización del macizo rocoso objeto de la excavación a partir de:

- Los sistemas de juntas y discontinuidades.
- La relación de estos y la excavación con los posibles planos de rotura.
- Los parámetros resistentes de las juntas las características y propiedades de sus superficies así como los materiales que las rellenan.
- Las propiedades geo-mecánicas de la matriz rocosa.
- Las características hidrogeológicas y las presiones de agua en juntas de fracturas.
- Efecto de las vibraciones sobre los macizos residuales.
- **Coefficiente de seguridad:** El valor del coeficiente de seguridad depende de la importancia de la obra y de los daños inherentes a la rotura del talud. Se recomienda, para procesos permanentes a largo plazo un valor superior a 1,4, y preferiblemente por encima de 1,5. Puede reducirse a valores de 1,3 en situaciones transitorias, e incluso a valores menores, de 1,1 a 1,2, en situaciones accidentales. Como se observa en la Tabla

3

**TABLA 3. ESTABILIDAD GLOBAL, COEFICIENTES DE SEGURIDAD MÍNIMOS.**

COMBINACIÓN DE ACCIONES	COEFICIENTE NORMAL	COEFICIENTE REDUCIDO
Casi permanente (*)	$F_1 \geq 1,50$	$F_{1,red} \geq 1,30$
Característica	$F_2 \geq 1,30$	$F_{2,red} \geq 1,20$
Accidental	$F_3 \geq 1,10$	$F_{3,red} \geq 1,05$

FUENTE: TOMADO DE BERNAL 2015.

Existen muchos métodos para el cálculo del coeficiente de seguridad algunos de ellos son los que se puede apreciar en la Tabla 4.

**TABLA 4. MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE SEGURIDAD.**

Método	Superficies de Falla	Equilibrio	Características
Talud Infinito	Rectas	Fuerzas	Bloque delgado con nivel fretico, falla paralela a la superficie.
Bolques o cuñas	Cuñas con tramos rectos	Fuerzas	Cuñas simples, dobles o triples, analizando las fuerzas que actúan sobre cada cuña.
Espiral logarítmica (Frohlich, 1953)	Espiral logarítmica	Fuerzas y momentos	Superficie de falla en espiral logarítmica. El radio de la espiral varía con el ángulo de rotación.
Arco circular, (Fellenius, 1922)	Circulares	Momentos	Círculo de falla, el cual es analizado como un solo bloque. Se requiere que el suelo sea cohesivo ( $\phi = 0$ ).
Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)	Circulares	Fuerzas	No tiene en cuenta las fuerzas entre dovelas.
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Circulares	Momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante, entre dovelas, son cero.
Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma	Fuerzas	Asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas.
Sueco Modificado. U.S. Army Corps of Engineers (1970)	Cualquier forma	Fuerzas	Las fuerzas entre dovelas tienen la misma dirección que la superficie del terreno.
Lowe y Karafiath (1960)	Cualquier forma	Fuerzas	Las fuerzas entre dovelas están inclinadas en un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas.
Spencer (1967)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	La inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada, pero son desconocidas.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	Las fuerzas entre dovelas, sea asume, que varían de acuerdo con una función arbitraria.
Sarma (1973)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	Utiliza el método de las dovelas en el cálculo de la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla.

Fuente: Tomado de Suárez, 2013.

De acuerdo con Vallejo (2002), se tiene:

- **Peso específico ( $\gamma$ ):** Es la relación entre el peso y su volumen, es un valor dependiente de la humedad, de los huecos de aire y del peso específico de las partículas sólidas. Para evitar confusiones, las determinaciones de los ensayos de laboratorio facilitan, por un lado, el “peso específico seco” y por otro la humedad. El peso específico natural de un suelo granular suele variar entre 12 y 25 kN/m<sup>3</sup>, de 14 a 25 kN/m<sup>3</sup> en suelos finos y de 1 a 10 kN/m<sup>3</sup> en suelos orgánicos. El peso específico seco de un suelo suele variar entre 18 y 27 kN/m<sup>3</sup> en arcillas y entre 14 y 18 kN/m<sup>3</sup> en suelos granulares. Es importante tener en cuenta que estos valores son solo una guía general y pueden variar dependiendo de las características específicas del suelo y las condiciones ambientales.
- **Cohesión (C):** Es la atracción entre partículas, originada por las fuerzas moleculares y las películas de agua. Por lo tanto, la cohesión de un suelo variará si cambia su contenido de humedad. La cohesión se mide kg/cm<sup>2</sup>. Los suelos arcillosos tienen cohesión alta de 0,25 kg/cm<sup>2</sup> a 1,5 kg/cm<sup>2</sup>, o más. Los suelos limosos tienen muy poca, y en las arenas la cohesión es prácticamente nula.
- **Fricción interna ( $\phi$ ):** Es la resistencia al deslizamiento causado por la fricción que hay entre las superficies de contacto de las partículas y de su densidad. Como los suelos granulares tienen superficies de contacto mayores y sus partículas, especialmente si son angulares, presentan una buena trabazón, tendrán fricciones internas altas. En cambio, los suelos finos las tendrán bajas. La fricción interna de un suelo, está definida por el ángulo cuya tangente es la relación entre la fuerza que resiste el deslizamiento, a lo largo de un plano, y la fuerza normal "p" aplicada a dicho plano. Los valores de este ángulo llamada "ángulo de fricción interna"  $\phi$ , varían de prácticamente 0° para arcillas plásticas, cuya consistencia este próxima a su límite líquido, hasta 45° o más, para gravas y arenas secas, compactas y de partículas angulares. Generalmente, el ángulo  $\phi$  para arenas es alrededor de 30°.

### 3.7. ESCOMBRERAS

Escombrera es una acumulación controlada o no, que contiene el material rocoso proveniente de una explotación minera, que no tiene valor económico (ganga o estéril) y se encuentra asociado a la mena. (Piña, 2007).

Las rocas estériles procedentes de la cobertura de las operaciones de cielo abierto o de las labores de preparación en las subterráneas se depositan, generalmente, como fragmentos gruesos en montones que constituyen las denominadas escombreras o botaderos.

Los botaderos de mina son utilizados como lugares de acopio o apilamiento para colocar rocas estériles o pobres que deben eliminarse o removerse, para acceder a una mena o veta de carbón. En este contexto, los botaderos de mina han sido denominados vertederos, escombreras, entre otros. De hecho el término "escombrera" se emplea como término universal en muchos países. El término "botadero" parece ser oriundo de norteamérica y es común en operaciones de minas metálicas, sin embargo, no siempre es utilizado en minas de carbón, donde aún puede hacerse referencia a "escombrera".

### **3.7.1. Consideraciones básicas de diseño:**

Los factores básicos que se deben considerar en el diseño de un esquema de eliminación de rocas de mina y desmonte pueden dividirse en cinco categorías generales:

- Factores Mineros:

Incluyen aquellos aspectos relacionados al acarreo de materiales y programación de la mina. Por ejemplo, el transporte, por lo general, es muy importante para los costos de disposición final de rocas de mina y deforestación; así, se hace necesario ubicar las escombreras lo más cerca posible a la fuente, con acarreo a nivel o cuesta abajo hacia la escombrera. La flexibilidad de la programación también puede ser un factor importante, particularmente, para minas grandes donde se necesitan varias escombreras. Los requerimientos de equipos (tractores y patroles) también pueden variar dependiendo del tipo y ubicación de la escombrera.

- Restricciones Físicas:

La cantidad de materiales de la escombrera y la configuración, ubicación y capacidad básicas de un determinado terreno donde se ubica la misma pueden tener restricciones físicas importantes sobre el diseño. Los terrenos pueden estar limitados por características topográficas tales como corrientes o taludes de cimentación excesivamente inclinados. El

acceso a algunos terrenos puede ser imposible o demasiado costoso. Dependiendo de la geometría del lugar, tener varias escombreras es mejor que tener una grande. La configuración y ubicación del terreno también pueden definir la técnica de construcción óptima.

- Impacto Ambiental:

Los impactos ambientales potenciales tienen influencia y en muchos casos, controlan el diseño de la escombrera. Los requisitos para las instalaciones de sedimentación pueden favorecer más a un terreno que a otro. Cuando se predice el drenaje de roca ácida, las medidas de mitigación requeridas pueden variar considerablemente entre los terrenos alternativos. El impacto potencial de las fallas en la escombrera también puede tener influencia en el diseño y debe ser evaluado. Adicionalmente, los requisitos de restauración y estética pueden variar de un terreno a otro, lo cual debe ser considerado en el proceso de diseño.

- Estabilidad a Corto y Largo Plazo :

La estabilidad de la escombrera de mina depende de la configuración, ubicación, forma de la cimentación y condiciones de la misma, así como de las características más importantes y la cimentación y su variación con el tiempo, metodología de la construcción, entre otros factores. Las consideraciones de estabilidad pueden variar dependiendo del nivel percibido de peligro o del periodo de exposición de la escombrera (por ejemplo, a corto plazo construcción durable vs. a largo plazo (abandono)). De esta manera, se debe evaluar el potencial de varios tipos de inestabilidad, que pueden tener impacto en la seguridad de la operación o en el ambiente. Se deben tomar las medidas necesarias para reducir el riesgo de inestabilidad a un nivel aceptable. Así mismo, se debe analizar la estabilidad de la escombrera, así como el potencial para la erosión superficial de las pendientes restauradas.

- Consideraciones Sociales/Políticas:

Los proyectos de desarrollo de recursos de cualquier lugar están sujetos a la creciente necesidad de regulación y permisos más estrictos. Los asuntos como protección ambiental, conservación de los recursos, concesión de explotación de tierras vírgenes, importancia arqueológica, estética, y competencia por usos de tierra reciben una mayor atención por parte

del público y el Estado. Los operadores de minas deben evaluar la percepción del público y la aceptación política de las alternativas de eliminación de rocas de mina y desmonte en la primera etapa del proceso de diseño.

### 3.7.2. Tipos de Escombreras:

Los tipos de escombreras que se pueden distinguir de acuerdo a la secuencia de constructiva de la misma, en terrenos con pendiente que es el caso más habitual, son cuatro:

- Vertido libre:

Solo es aconsejable en escombreras de pequeñas dimensiones y cuando no exista riesgo de rodadura de rocas aguas abajo. Se caracteriza por presentar en cada momento un talud que coincide con el ángulo de reposo de los estériles y una segregación por tamaños muy acusada. De los cuatro tipos es el más desfavorable geotécnicamente, aunque ha sido el más utilizado hasta épocas recientes. Como se muestra en la Figura 26.

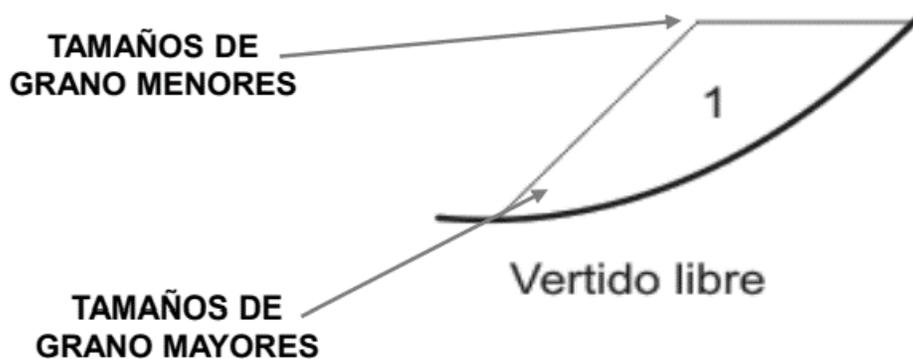
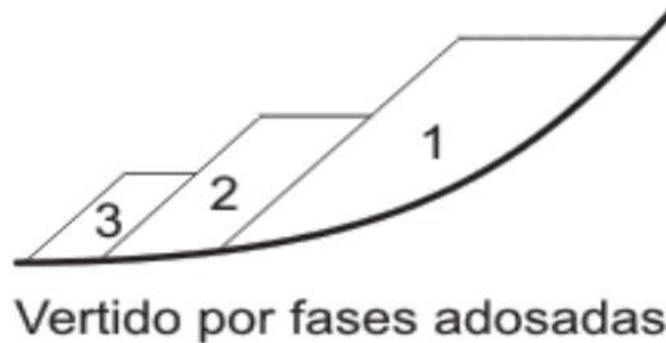


Figura 26. Escombrera de vertido libre tomado de Piña 2021 (modificado de Wahler (1979)).

- Vertido por fases adosadas:

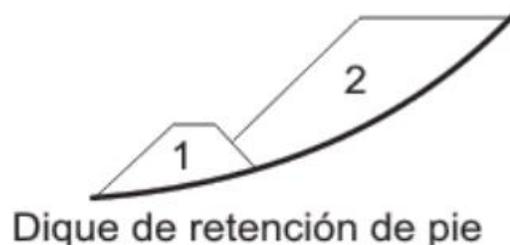
Proporcionan unos factores de seguridad mayores, pues se consiguen unos taludes medios finales más bajos. La altura total puede llegar a suponer una limitación por consideraciones prácticas de acceso a los niveles inferiores. (Figura 27).



**Figura 27.** Escombrera de vertido por fases adosadas, tomado de Piña 2021 (modificado de Wahler (1979)).

- Dique de retención en pie

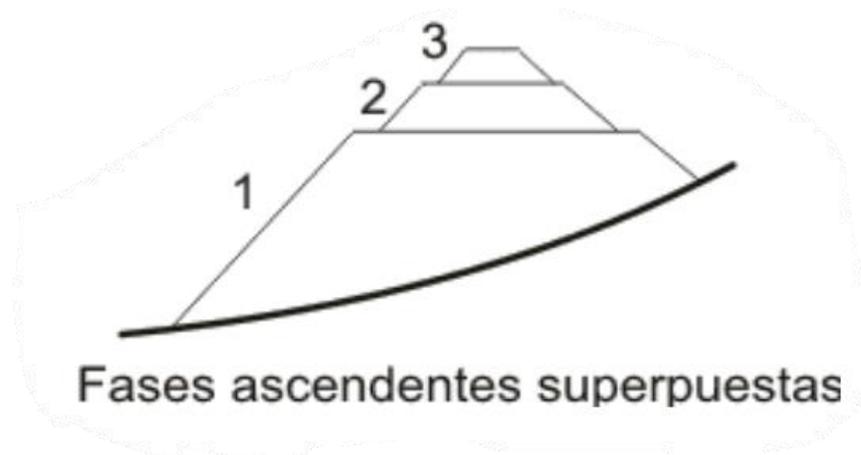
Se aplica cuando los estériles que se van a verter no son homogéneos y presentan diferentes litologías y características geotécnicas, puede ser conveniente el levantamiento de un dique de pie con los materiales más gruesos y resistentes, de manera que actúen de muro de contención del resto de los estériles depositados. Como se muestra en la Figura 28



**Figura 28.** Escombrera de Dique de retención en pie, tomado de Piña 2021 (modificado de Wahler (1979)).

- Fases ascendentes superpuestas

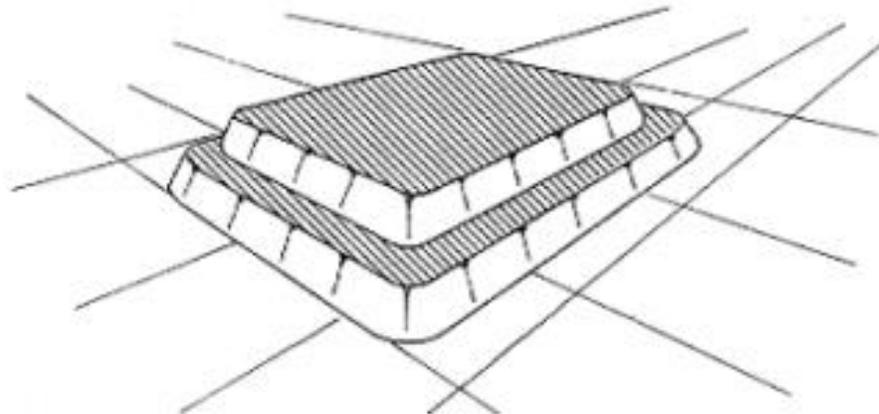
Aporta una mayor estabilidad, por cuanto se disminuyen los taludes finales y se consigue una mayor compactación de los materiales. El procedimiento de vertido determina en gran medida el método de construcción o de desarrollo de la escombrera. Comúnmente, se reconocen dos métodos de vertido (Figura 29).



**Figura 29. Escombrera de Fases ascendentes superpuestas, tomado de Piña 2021 (modificado de Wahler (1979)).**

- Rellenos Apilados

Los rellenos apilados: rellenos Entongados o Apilados, comprenden montículos de desechos con taludes formados por todos lados. Los taludes de cimentación son generalmente planos o ligeramente inclinados. Como se muestra en la Figura 30



**Figura 30. Escombrera de Rellenos Apilados, tomado de Piña 2021 (modificado de Wahler (1979)).**

### 3.7.3. Configuración de la escombrera

La configuración y el tamaño de la escombrera de mina, tiene una relación directa con su estabilidad y tamaño potencial de las fallas (Lau y otros (1986); Taylor y Greenwood (1981); Nichols (1981); y Blight (1981)). Las variables geométricas primarias son:

- Altura:

Definida como la distancia vertical desde la cresta de la escombrera hasta la superficie del terreno en la base de la misma. Los tamaños de las escombreras generalmente varían de 20m hasta más de 400m. Como se muestra en la Figura 31

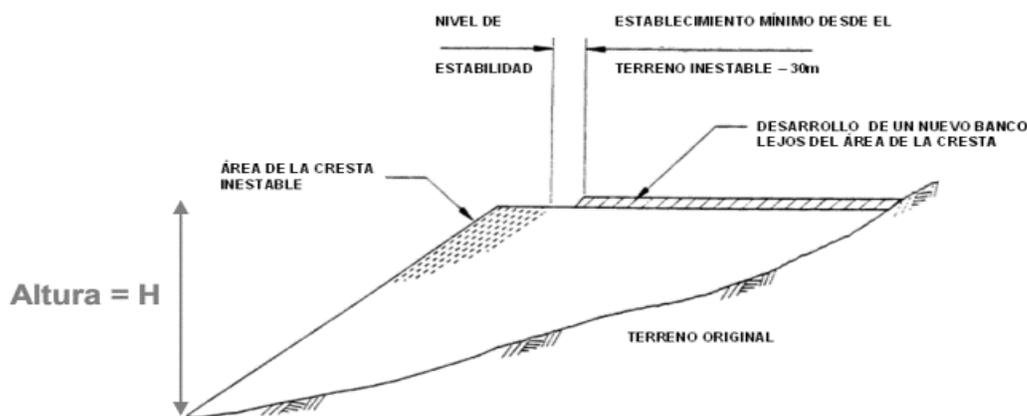


Figura 31. Altura de la escombrera, tomado de Piña (2021). Modificado de Edumine (2006).

- Volumen :

Generalmente expresado en términos de metros cúbicos por banco (volumen in situ antes de la excavación). Se considera que los escombreras pequeños contienen menos de 1 millón de m<sup>3</sup> aproximadamente, mientras que los grandes escombreras, más de 50 millones de m<sup>3</sup>. Los de tamaño mediano, tienen volúmenes que varían entre 1 y 50 millones de m<sup>3</sup>. Como se muestra en la Tabla 5

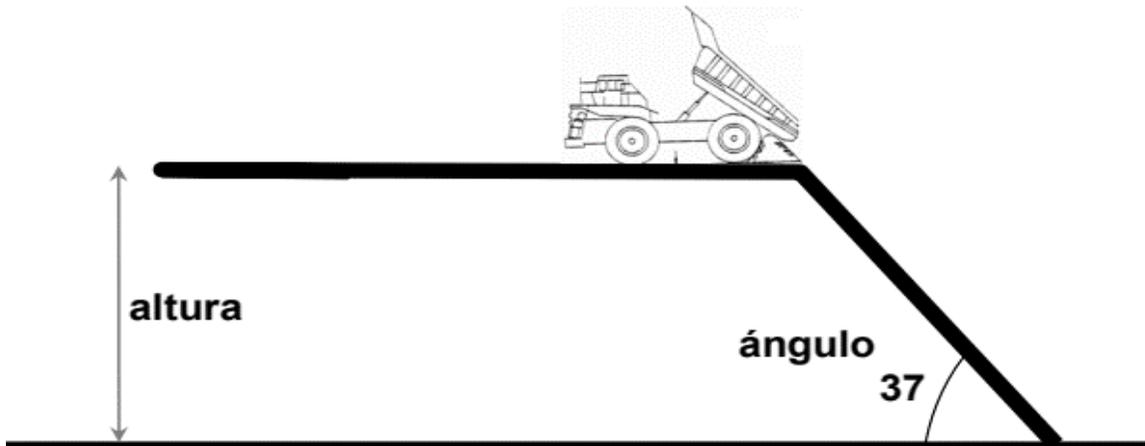
TABLA 5. PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE LA ESCOMBRERA.

TAMAÑO	PEQUEÑO	MEDIANO	GRANDE
MILLONES MCB	< 1	1 - 50	> 50

Fuente: Tomado de Piña (2021). Modificado de Edumine (2006).

- **Ángulo del talud:**

El ángulo total de la escombrera medido desde la cresta, desde la plataforma más alta hasta la base. El rango normal de los taludes de escombreras es de  $26^\circ$ , lo que constituye un ángulo común adoptado para remediación y  $37^\circ$  un ángulo de reposo promedio de vertido libre. Como se muestra en la Figura 32



**Figura 32. Ángulo de talud de la escombrera, Tomado de Piña (2021). Modificado de Edumine (2006).**

#### **3.7.4. Método de construcción:**

Las escombreras, por lo general, se construyen en una serie de elevaciones o plataformas ya sea en secuencia ascendente o descendente. La construcción de taludes cuesta arriba (ascendente) es ventajosa, ya que la base de cada banco se apoya en el banco anterior. El método de construcción seleccionado se basa en una combinación de factores que incluyen: la minimización de la distancia de acarreo, accesibilidad, capacidad disponible y estabilidad del escombrera (lo que generalmente es crítico durante y poco después de la construcción).

#### **3.7.5. Seguridad.**

La preocupación más importante en relación a la estabilidad de una escombrera consiste en la seguridad de su personal y equipo. Un objetivo primario del diseño y secuencia

de construcción es minimizar la posibilidad de que ocurra una falla sin o con mínima advertencia. Sin embargo, la garantía de seguridad es, en gran medida, un tema operacional. Las situaciones que tienden a generar fallas sorpresivas y por lo tanto, son por naturaleza peligrosas incluyen:

- Vaciado cuesta abajo sobre el terreno inclinado, particularmente taludes de 25° a 30°.
- Vaciado de materiales con constituyentes de grano fino que confieren un componente cohesivo para la resistencia y que pueden inducir a que los taludes de construcción sean más inclinados que el ángulo de reposo normal.
- Relleno rápido a un nivel que no permite la disipación de la presión intersticial y el desarrollo total de la resistencia entre las partículas.
- Relleno excesivo de quebradas de modo que se pierdan los efectos de confinamiento.
- Combinación de dos o más de los factores antes mencionados.

### **3.8. ASPECTOS AMBIENTALES Y SEGURIDAD.**

El desarrollo de las actividades mineras siempre tienen incidencia sobre el entorno que lo rodea y universalmente se ha desarrollado la conciencia sobre el medio ambiente y el ser humano como parte fundamental, por ende es importante mencionar los aspectos ambientales y de seguridad en el área de explotación minera.

#### **3.8.1. Impacto Ambiental:**

El despertar de la conciencia sobre el medio ambiente surge en la década de los setenta como lo referencia López (2000), donde se comenzó a desarrollar una serie de políticas en países más avanzados para prevenir el impacto negativo de muchas actividades económicas que generaban secuelas en el ambiente. La minería ha venido creciendo por la demanda de materiales para desarrollo tecnológico, industrial entre otros, lo que propicia una mayor demanda pero a la vez una mayor responsabilidad en la explotación. Para ir de la mano a un desarrollo minero responsable se han realizado estudios y consideraciones a tener en cuenta en la gestión de los recursos minerales que sirven para utilizar de forma eficiente el medio natural, entre ellos se puede citar:

- Aprovechamiento integral de las materias primas:

Durante el procesamiento y concentración de las menas, se produce un volumen considerable de residuos y estériles, que podrían sustituir, en parte, a los que actualmente es preciso obtener gran número de explotaciones. Por ejemplo, en la construcción y obras públicas como material de relleno.

- **Reciclado de material:**

Muchos productos después de su uso o consumo, generan importantes cantidades de materiales que pueden reciclarse, por ejemplo como base para el desarrollo de tierra abonada para el desarrollo de la agricultura.

- **Utilización eficiente de la energía:**

Los procesos fabriles e industriales demandan grandes cantidades de energía y en ocasiones presentan unos rendimientos energéticos muy bajos. Además de las medidas de conservaciones de la energía, otro factor es la sustitución de determinados productos por materias cuya elaboración suponga menores consumos específicos de energía.

- **Explotación racional del yacimiento:**

Muchos depósitos albergan minerales con diferentes contenidos de sustancias aprovechables. La aplicación de leyes de corte altas se traduce en la pérdida de minerales pobres o marginales cuyo tratamiento sería viable con procesos más eficientes o condiciones económicas más favorables.

- **Planificación de abastecimiento de minerales:**

La elaboración de planes de abastecimiento a partir de la demanda, alternando las fuentes y modalidades de aprovisionamiento de los recursos constituye una buena herramienta de gestión para asegurar el suministro de materias primarias, al mismo tiempo que sirven de base para puesta en marcha y ejecución de programas de ordenación minero-ambiental en algunos sectores.

- **Legislación ambiental:**

Por último la aplicación de la legislación en materia ambiental y de seguridad afectara a la gestión de los recursos en dos facetas distintas. Primero, se lograra de una forma directa que los impactos producidos sean menores al aplicarse medidas correctoras sobre las alteraciones de carácter temporal y permanente, y procederse a la recuperación de los terrenos. Segundo, al entrar en vigor cierta reglamentación en otros sectores o áreas industriales se producirá unos efectos indirectos claramente beneficiosos al obtener sustancias sustitutivas de las naturales. La sociedad propone los principios rectores y objetivos básicos para alcanzar la protección ambiental, conciliándolo con los aspectos económicos, sociales y de desarrollo. En función de una política enmarcada en leyes y reglamentos. Los Instrumentos de la política ambiental de acuerdo al MARNR, citado por Durant (1989):

- Recurso humano.
  - Instrumentos legales.
  - Instrumentos institucionales.
  - Instrumentos financieros.
  - Instrumentos administrativos, incluyendo medidas económicas.
  - Instrumentos técnicos - científicos Instrumentos programáticos o planes y programas.
- 
- Política ambiental venezolana.

La República Bolivariana de Venezuela cuenta con un Marco Jurídico para la evaluación ambiental y socio-cultural. El marco legal se rige por la siguiente pirámide de Kelsen (Figura 33):



**Figura 33. Orden jerárquico del sistema jurídico venezolano. Fuente: Elaboración Propia.**

Referente a sistema jurídico ambiental tenemos:

- Constitución de la República Bolivariana de Venezuela.
- Acuerdos internacionales.
- Ley Orgánica del Ambiente (LOA).
- Ley Orgánica de la Administración Pública (LOAP).
- Ley Orgánica de Procedimientos Administrativos (LOPA).
- Ley Orgánica para la Planificación y Gestión de la Ordenación del Territorio.
- Ley Penal del Ambiente (LPA).
- Ley Forestal de Suelos y de Aguas.
- Ley de Protección a la Fauna Silvestre.
- Ley sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos.
- Otras Leyes generales, especiales, reglamentos y decretos. Entre los artículos podemos citar:

- Respecto a la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela.

- Derechos ambientales: Es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro. Toda persona tiene derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado, Art. 127.
- Obligaciones estatales: El Estado protegerá el ambiente, la diversidad biológica, genética, los procesos ecológicos, los parques nacionales y monumentos naturales y demás áreas de especial importancia ecológica. El genoma de los seres vivos no podrá ser patentado, y la ley que se refiera a los principios bioéticos regulará la materia, Art. 127.
- Obligaciones estatales: Es una obligación fundamental del Estado, con la activa participación de la sociedad, garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación, en donde el aire, el agua, los suelos, las costas, el

clima, la capa de ozono, las especies vivas, sean especialmente protegidos, de conformidad con la ley, Art. 127.

- Política de Ordenación del territorio: El Estado desarrollará una política de ordenación del territorio atendiendo a las realidades ecológicas, geográficas, poblacionales, sociales, culturales, económicas, políticas, de acuerdo con las premisas del desarrollo sustentable, que incluya la información, consulta y participación ciudadana. Una ley orgánica desarrollará los principios y criterios para este ordenamiento, Art. 128. Todas las actividades susceptibles de generar daños a los ecosistemas deben ser previamente acompañadas de estudios de impacto ambiental y socio cultural. El Estado impedirá la entrada al país de desechos tóxicos y peligrosos, así como la fabricación y uso de armas nucleares, químicas y biológicas. Una ley especial regulará el uso, manejo, transporte y almacenamiento de las sustancias tóxicas y peligrosas, Art. 129.

- Respecto a la Ley Orgánica del Ambiente.

Establece dentro de la política de desarrollo integral de la Nación, los principios rectores para la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente en beneficio de la calidad de la vida. Art. 1°.

Declara de utilidad pública y de interés general la gestión ambiente, la cual, entre otros, comprende Arts. 2°, 3°, 4° y 5°.

- La ordenación del territorio y la planificación de los procesos de urbanización, industrialización.
- El aprovechamiento racional de los suelos, aguas.
- La prohibición y corrección de actividades degradantes del ambiente.
- El estímulo a la participación ciudadana.

Establece el control de la Autoridad Nacional Ambiental por parte del Ejecutivo Nacional (Art. 19).

Define la Autoridad Nacional Ambiental (Art. 20). Regula la autorización de las Autoridad Nacional Ambiental (Art.21).

Dispone la compatibilización de dichas autorizaciones con el Plan Nacional de Autoridad Nacional Ambiental (Art. 22).

Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente (Art. 20).

- Las que directa o indirectamente contaminen o deterioren el aire, el agua, etc., o incidan desfavorablemente sobre la fauna o la flora.
  - Las alteraciones nocivas a la topografía.
  - Las alteraciones nocivas al flujo natural de las aguas.
  - La sedimentación de los cursos y depósitos de agua.
  - Los cambios nocivos al lecho de las aguas.
  - La introducción y utilización de productos o sustancias no biodegradables.
  - Las que producen ruidos molestos o nocivos. Las que deterioran el paisaje.
  - Las que modifiquen el clima.
  - Las que produzcan radiaciones ionizantes; Las que propenden a la acumulación de residuos, basuras, desechos y desperdicios.
  - Las que propenden a la eutrofización de lagos y lagunas.
  - Cualesquiera otras actividades capaces de alterar los ecosistemas naturales e incidir negativamente sobre la salud y bienestar del hombre.
- La Ley Penal del Ambiente.
    - Tipifica como delito aquellas conductas contrarias a la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente.
    - Establece las sanciones penales correspondientes
    - Determina las medidas precautelarias, de restitución y de reparación a que haya lugar.

- El Decreto 1.257. Normas sobre la Evaluación Ambiental de las Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente.

Establecer los procedimientos conforme a los cuales se realizará la evaluación ambiental de las actividades susceptibles de degradar el ambiente, Art. 1º. Establece:

Los procedimientos relacionados con la ocupación del territorio. Participación ciudadana. Supervisión Vigilancia y Control Ambiental. Consultores Ambientales.

Además se tiene las normas técnicas:

Decreto 883. Normas para la clasificación y control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos.

Decreto 638: Normas sobre Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica.

Decreto 2.673: Normas de Emisiones para Fuentes Móviles.

Decreto 3.220: Normas para Reducir el Consumo de las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono.

Resolución 56: Normas sobre recaudos para la evaluación ambiental de programas y proyectos mineros y de exploración y producción de hidrocarburos.

### **3.8.2. Seguridad laboral.**

En función de la seguridad de los trabajadores, se desarrolló la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de trabajo. La ley busca fomentar que el trabajo se adapte a las características de los trabajadores y el personal se engrane en los aspectos organizativos y funcionales de la empresa.

Se cumple con las normas de seguridad, salud y ergonomía, utilizando los métodos, sistemas o normas estandarizadas: Organización Internacional del Trabajo, Organización Internacional de Normalización, Administración de Seguridad y Salud Ocupacional entre otras.

La disponibilidad de tiempo y las comodidades del trabajador en relación a la alimentación, descanso, esparcimiento, recreación, capacitación técnicas y profesional.

Se controlen las condiciones peligrosas en la fuente u origen, mediante estrategias de control en el medio, controles administrativos y en última instancia, o complementariamente, utilización de equipos de protección personal.

En relación a las actividades mineras, podemos mencionar los siguientes artículos de la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de trabajo (LOPCYMAT):

La Ley establece que las instituciones, normas y lineamientos de las políticas, y los órganos y entes que permitan garantizar a los trabajadores y trabajadoras, condiciones de seguridad, salud y bienestar en un ambiente de trabajo adecuado y propicio para el ejercicio pleno de sus facultades físicas y mentales, mediante la promoción del trabajo seguro y saludable, la prevención de los accidentes de trabajo y las enfermedades ocupacionales, la reparación integral del daño sufrido y la promoción e incentivo al desarrollo de programas para la recreación, utilización del tiempo libre, descanso y turismo social, Art. 1.

Sus disposiciones son aplicables a los trabajos efectuados bajo relación de dependencia por cuenta de un empleador o empleadora, cualquiera sea su naturaleza, el lugar donde se ejecute, persiga o no fines de lucro, sean públicos o privados existentes o que se establezcan en el territorio de la República, y en general toda prestación de servicios personales donde haya patronos o patronas y trabajadores o trabajadoras, sea cual fuere la forma que adopte, salvo las excepciones expresamente instituidas por la ley. Art. 4.

En todo centro de trabajo, empresa o unidad de explotación de las diferentes empresas o de instituciones públicas o privadas, los trabajadores y trabajadoras elegirán delegados o delegadas de prevención, que serán sus representantes ante el Comité de Seguridad y Salud Laboral, mediante los mecanismos democráticos instaurados en la presente Ley, su Reglamento y las convenciones colectivas de trabajo. Mediante Reglamento se constituirá el número de delegados o delegadas de prevención, para lo cual debe tomar en consideración

el número de trabajadores y trabajadoras; la organización del trabajo; los turnos de trabajo, áreas, departamentos o ubicación de los espacios físico, así como la peligrosidad de los procesos de trabajo. Art. 41.

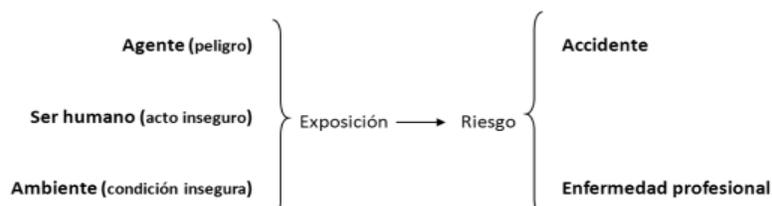
En el centro de trabajo, establecimiento o unidad de explotación de las diferentes empresas o de instituciones públicas o privadas, debe constituirse un Comité de Seguridad y Salud Laboral, órgano paritario y colegiado de participación destinado a la consulta regular y periódica de las políticas, programas y actuaciones en materia de seguridad y salud en el trabajo. El Comité estará conformado por los delegados o delegadas de prevención, de una parte y por el empleador o empleadora, o sus representantes en número igual al de los delegados o delegadas de prevención, de la otra. Art. 46.

- Derechos de los trabajadores y las trabajadoras (Art. 53).
  - Ser informados, con carácter previo al inicio de su actividad, de las condiciones en que ésta se va a desarrollar, de la presencia de sustancias tóxicas en el área de trabajo, de los daños que las mismas puedan causar a su salud, así como los medios o medidas para prevenirlos.
  - Rehusarse a trabajar, a alejarse de una condición insegura o a interrumpir una tarea o actividad de trabajo cuando, basándose en su formación y experiencia, tenga motivos razonables para creer que existe un peligro inminente para su salud o para su vida sin que esto pueda ser considerado como abandono de trabajo.
  
- Deberes de los trabajadores y trabajadoras.
  - Ejercer las labores derivadas de su contrato de trabajo con sujeción a las normas de seguridad y salud en el trabajo no sólo en defensa de su propia seguridad y salud sino también con respecto a los demás trabajadores y trabajadoras y en resguardo de las instalaciones donde labora.
  - Usar en forma correcta y mantener en buenas condiciones los equipos de protección personal de acuerdo a las instrucciones recibidas dando cuenta inmediata al

responsable de su suministro o mantenimiento, de la pérdida, deterioro, vencimiento, o mal funcionamiento de los mismos.

- Acatar las instrucciones, advertencias y enseñanzas que se le impartieren en materia de seguridad y salud en el trabajo.
  - Informar de inmediato, cuando tuvieren conocimiento de la existencia de una condición insegura capaz de causar daño a la salud o la vida, propia o de terceros, a las personas involucradas.
  - Acatar las pautas impartidas por las supervisoras o supervisores inmediatos a fin de cumplir con las normativas de prevención y condiciones de seguridad manteniendo la armonía y respeto en el trabajo.
- Conceptos de higiene y seguridad industrial. Hernández (2005).
    - Higiene: Es la disciplina preventiva que estudia las condiciones del medio ambiente de trabajo, identificando, evaluando y controlando los contaminantes de origen laboral. Para evitar que se produzca un daño a la salud. Puede definirse como la técnica no médica de prevención de enfermedades profesionales
    - Seguridad industrial: Es el conjunto de normas obligatorias establecidas para evitar o minimizar, tanto los riesgos que puedan efectuarse en los ámbitos industriales, como los perjuicios derivados de la actividad industrial e incluso las enfermedades ocupacionales.

Se ha señalado la importancia de la higiene para la conservación de la salud, la metodología de esta ciencia consiste en (Figura 34):



**Figura 34. Reconocimiento de los parámetros de riesgo laboral. Fuente: Hernández (2005).**

Los conceptos de los parámetros de riesgo laboral son los siguientes. Hernández (2005).

- Peligro: El peligro hace referencia a una fuente, una situación o un acto que pueden ocasionar un potencial daño.
- Acto inseguro: Se refieren a todas las acciones y decisiones humanas, que pueden causar una situación insegura o incidente, con consecuencias para el trabajador, la producción, el medio ambiente y otras personas.
- Condición insegura: Es todo elemento de los equipos, la materia prima, las herramientas, las máquinas, las instalaciones o el medio ambiente que se convierte en un peligro para las personas, los bienes, la operación y el medio ambiente y que bajo determinadas condiciones puede generar un incidente.
- Exposición laboral: Contacto con un agente físico, químico o biológico potencialmente nocivo como resultado del trabajo de una persona.
- Riesgo: Es la probabilidad de que una amenaza se convierta en un desastre. La vulnerabilidad o las amenazas, por separado, no representan un peligro. Pero si se juntan, se convierten en un riesgo, o sea, en la probabilidad de que ocurra un desastre.
- Accidente: Es un suceso repentino que sobrevenga por causa o con ocasión del trabajo, y que produzca en el trabajador una lesión orgánica, una perturbación funcional o psiquiátrica, invalidez o la muerte.
- Enfermedad profesional: Es la enfermedad ocasionada de una manera directa por el ejercicio del trabajo o profesión que ejerce el trabajador/a y que le provoca incapacidad (temporal, permanente) o muerte.
- Equipos de protección personal.

Estos equipos de protección son de uso obligatorios, dichos implementos están diseñados para minimizar incidentes que perjudiquen la salud del trabajador por un corto lapso de tiempo o permanentemente. Según la norma Covenin (2237-85).

Cascos de seguridad: implemento que protege la cabeza de golpes etc. (Figura 35).



**Figura 35. Señalización de uso de casco de seguridad. Fuente: Seguridad e higiene laboral.**  
<http://floruts.blogspot.com/2013/08/senalizaciones-senalizacion-es-el.html>.

Lentes de seguridad y otras protecciones de la vista: implemento que protege los ojos de objetos extraños, partículas, astillas, luz, polvo entre otros. (Figura 36).



**Figura 36. Señalización de uso de lentes de seguridad. Fuente: Seguridad e higiene laboral.**  
<http://floruts.blogspot.com/2013/08/senalizaciones-senalizacion-es-el.html>.

Guantes industriales: implemento que protege las manos de sustancias peligrosas y antiresbalante. (Figura 37).



**Figura 37. Señalización de uso de guantes de seguridad. Fuente: Seguridad e higiene laboral.**  
<http://floruts.blogspot.com/2013/08/senalizaciones-senalizacion-es-el.html>.

- Respiradores y mascarillas: implemento que protege las vías respiratorias de humos, gases, polvo etc. Como se muestra la Figura 38.



**Figura 38. Señalización de uso de mascarilla. Fuente: Seguridad e higiene laboral.**  
<http://floruts.blogspot.com/2013/08/senalizaciones-senalizacion-es-el.html>.

Tapones y protectores para los oídos: implemento que protegen los oídos de ruidos mayores a 80 db, en áreas industriales donde la exposición supera las 8 horas diarias. (Figura 39).



**Figura 39.** Señalización de uso de protectores auditivos. Fuente: Seguridad e higiene laboral.  
<http://floruts.blogspot.com/2013/08/senalizaciones-senalizacion-es-el.html>.

Chaleco reflectante: implemento utilizado para visualizar al personal hasta una distancia de 150 mts. Como se muestra en la Figura 40



**Figura 40.** Señalización de uso de chaleco reflectante. Fuente: Seguridad e higiene laboral.  
<http://floruts.blogspot.com/2013/08/senalizaciones-senalizacion-es-el.html>.

## **CAPÍTULO IV.**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.**

La elaboración de este diseño de minas es una investigación de tipo exploratoria y descriptiva, ya que implica recopilar y analizar información sobre la calidad y cantidad de arcilla disponibles dentro de la concesión del área de estudio, así como sobre los métodos de extracción, las condiciones del suelo, y los efectos ambientales que se generaran durante la actividad extractiva. También incluirá aspectos técnicos y económicos relacionados con las operaciones de la explotación.

#### **4.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.**

El diseño de la investigación es no experimental, con un enfoque de investigación aplicada, ya que este enfoque se centra en la recopilación de información física, química y geográfica así como análisis de viabilidad económica, el uso industrial del producto y el impacto ambiental generado por las operaciones mineras.

#### **4.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.**

- **Población.**

Se tiene como población a las arcillas dentro de la formación Moran (Fm. Donde afloran estas arcillas).

- **Muestra.**

Se tiene como muestra los afloramientos de arcillas dentro de la población Sanare, Municipio Andrés Bello Blanco (Aprox. 2 Ha).

#### **4.4 INSTRUMENTOS DE LA RECOLECCIÓN DE DATOS.**

- **Formatos de campo para recoger información sobre la estructura geológica del terreno.**

- **Sistema de posición global (GPS):** Las superficies medidas con el GPS se pueden visualizar en mapas y en sistemas de información geográfica (SIG) que almacenan, manipulan y visualizan los datos geográficos referenciados.

- **Brújula Brunton:** Permite realizar todo tipo de operaciones y maniobras de orientación, tales como determinar el acimut sobre un mapa, identificar todo lo que nos rodea en el mapa, localizar nuestra posición en el mapa mediante triangulación, etc.
- **Cinta métrica:** instrumento utilizado para medir distancias de un punto a otro.
- **Mapas topográficos:** Concede la información en detalle de los accidentes geográficos naturales y artificiales de la superficie del suelo y curvas de nivel. En ellos se detallan el relieve, la forma y latitud de las montañas y cerros.
- **Análisis de información: Para el análisis de información utilizaremos los siguientes programas:**
  - **Excel 2013:** Para crear bases de datos y efectuar operaciones matemáticas.
  - **Dibujo asistido por Autodesk AutoCAD Civil 3D 2018:** con el fin de realizar los mapas topográficos, vías, etc.
  - **Recmin:** Con el propósito de generar el modelado geológico y cálculos de los volúmenes de las capas de arcilla.
  - **Rocscience Slide:** El objetivo primordial de realizar el modelado de la estabilidad de talud.
  - **Google Earth Pro:** Permite importar y exportar datos del sistema de información geográfica, para situarnos sobre mapas actualizados de la zona de estudio.

#### 4.5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

La elaboración de un diseño minero requiere de una investigación detallada para identificar las características del yacimiento, evaluar la viabilidad económica y ambiental de la explotación, y determinar las técnicas de procedimiento más adecuado. A continuación se presentan algunas técnicas de procedimiento que se realizarán en esta investigación:

- **Estudio Geológico:** se realiza un estudio detallado de la geología del yacimiento de arcilla, incluyendo composición mineralógica, la estructura del suelo, la ubicación de las capas de arcilla, su espesor y la distribución del yacimiento.

- **Muestreo y Análisis de suelos:** se efectúan muestreos para recopilar muestras representativas del yacimiento de arcilla, ejecutados por los promotores del proyecto Arcillas blancas venezolanas “ABV”. Posteriormente, se analizan estas muestras en laboratorio para determinar la calidad del material (contenido de humedad, plasticidad, resistencia, entre otros parámetros).
- **Estudio de Impacto Ambiental:** se evalúa el impacto que tendrá la extracción de arcilla en el entorno natural, considerando la calidad del agua, la erosión del terreno y la generación de residuos y emisiones contaminantes.
- **Diseño de la explotación:** con base en los resultados de la investigación, se elabora un diseño minero que incluye planos topográficos actualizados y modificados de la zona de estudio, realizados por Dibujo asistido por Autodesk AutoCAD Civil 3D 2018. La selección de equipos y maquinarias a utilizar, con los catálogos de las marcas más utilizadas en minería y así notar los costos de los equipos. La determinación de las técnicas de extracción. Generar cálculos volumétricos por Recmin, para conocer de la durabilidad de la explotación. La estabilidad de los frentes de extracción (taludes) con el programa slide. Efectuar el cálculo y análisis de la escombrera, entre otros aspectos.
- **Plan de control y monitoreo:** Implementar un control de monitoreo de las operaciones de producción, que permitan evaluar constantemente los objetivos establecidos para la cantidad de material a extraer y realizar ajustes cuando sea necesario.

## **CAPÍTULO V.**

### **RESULTADOS Y ANÁLISIS**

#### **5.1. ESTUDIO DE LA ZONA**

La necesidad de contar con un diseño minero para la extracción de arcilla rica en alúmina en el estado Lara, específicamente en el sector de Sanare, dio inicio a una serie de secuencias para el análisis de los aspectos topográficos, geológicos, geomecánicos, operacionales y ambientales, los cuales componen el mismo, para ellos se inició con trabajo

de campo en el que se realizó un reconocimiento del terreno para estudiar las diferentes características de la zona.

### 5.1.1. Levantamiento Topográfico:

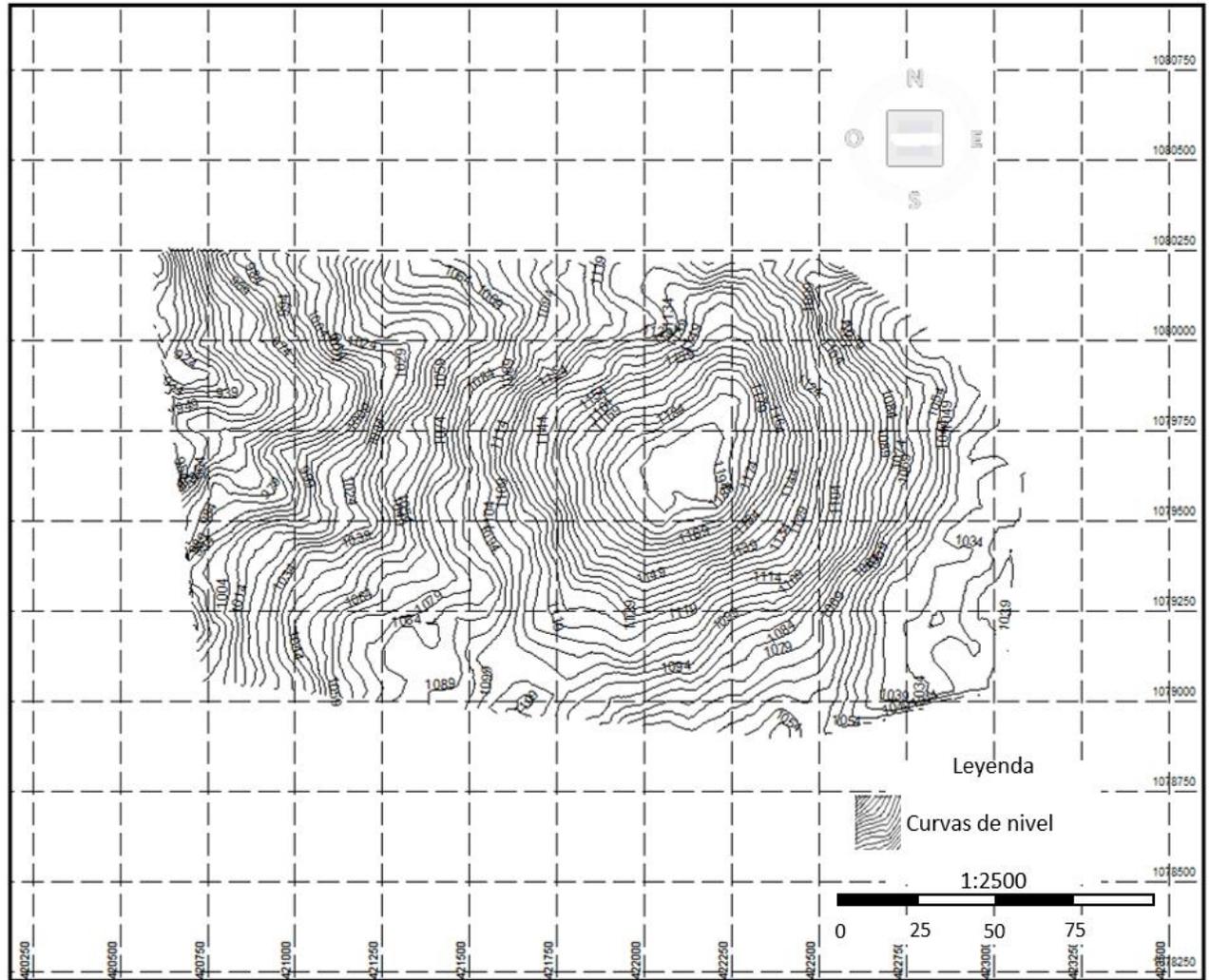
En campo se tomaron puntos con coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) usando como herramienta el GPS UTM GEO MAP 4.0.4, para demarcar un área de 28,585 m<sup>2</sup> para iniciar las actividades extractivas en una primera etapa. Como se muestra en la Tabla 6

**TABLA 6. PUNTOS DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL ÁREA DE INTERÉS.**

PUNTO	NORTE	ESTE	COTA (m)
P1	1079090	421839	1114
P2	1079087	421813	1,111
P3	1079090	421789	1114
P4	1079135	421759	1118
P5	1079153	421745	1119
P6	1079254	421684	1120
P7	1079266	421712	1128
P8	1079303	421719	1130
P9	1079306	421742	1134
P10	1079327	421748	1133
P11	1079204	421673	1124
P12	1079284	421683	1124
P13	1079315	421702	1118
P14	1079352	421747	1120
P15	1079326	421781	1132
P16	1079284	421818	1140
P17	1079234	421862	1137
P18	1079167	421850	1130
P19	1079128	421836	1118

Fuente: elaboración propia

Con referencia de los puntos tomados, se obtuvo un mapa de la zona con sus respectivas curvas de nivel utilizando Google Earth y el software minero RECMIN. (Figura 41).



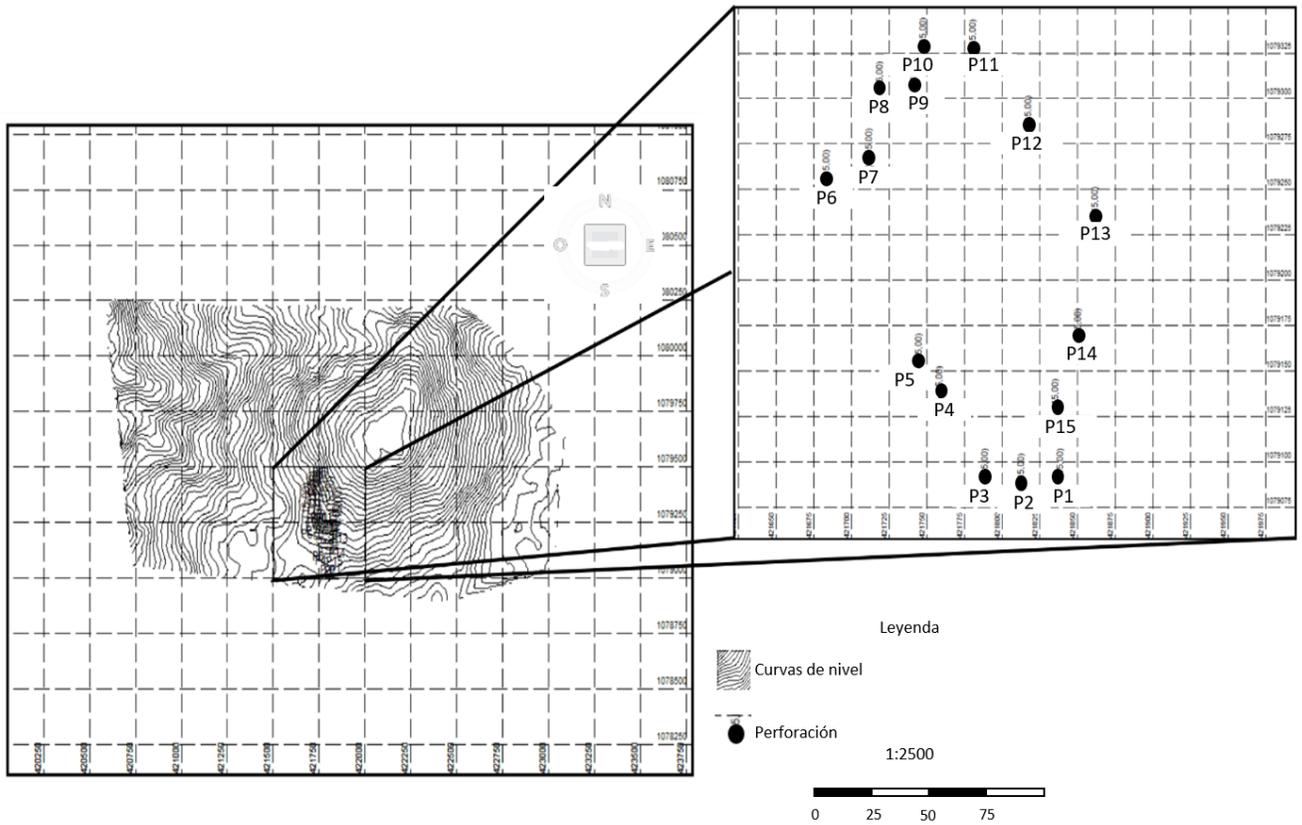
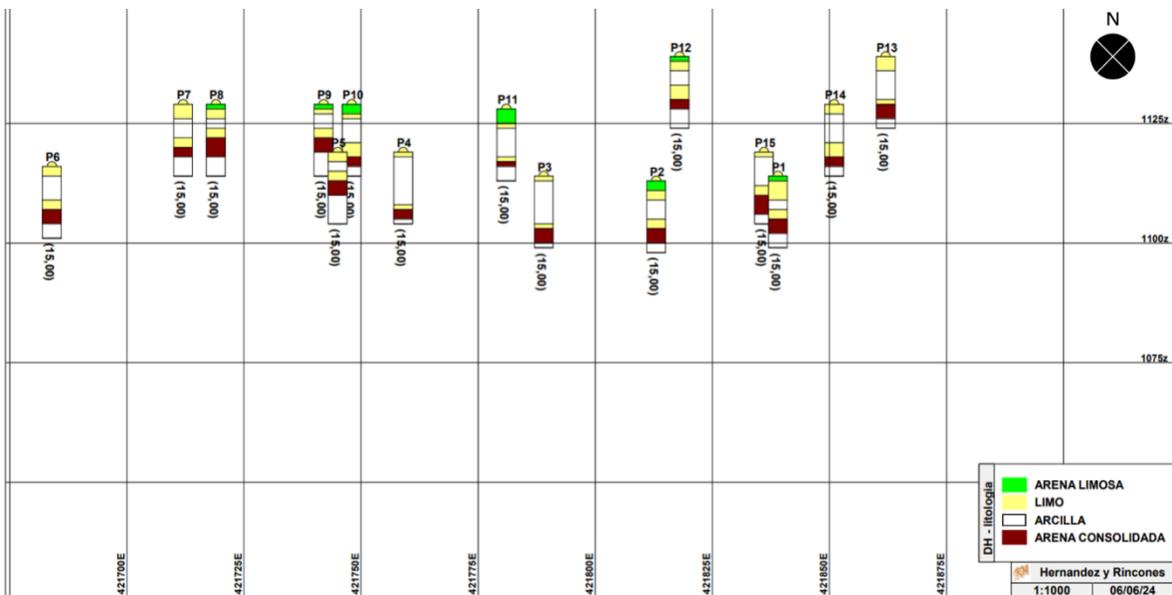
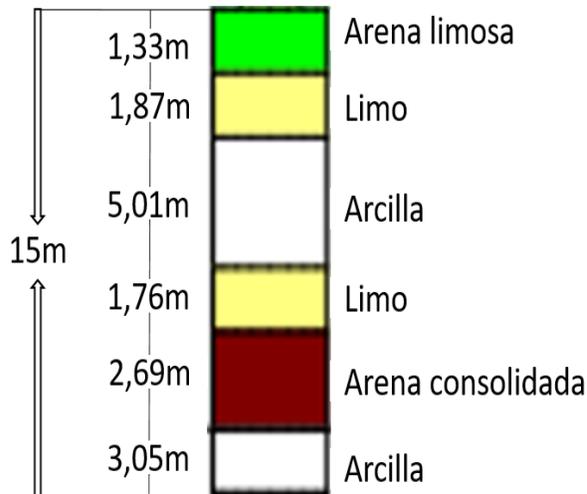


Figura 42. Ubicaciones de las perforaciones en el Mapa de la zona de estudio, realizado en el software minero RECMIN a escala 1:2500. Fuente propia.



**Figura 43. Ubicación de Perforaciones, con litologías identificadas en campo, realizado en el software minero RECMIN a escala 1:1000. Fuente propia.**

Realizando la descripción litológica de las perforaciones de 15m, encontramos una estratificación como se muestra en la figura 44. Donde se observó una secuencia con espesores promedio de arenas limosa (1,33m), limo (1.87m), arcilla (5,01m), limo (1,76m), arena consolidada (2,69m) y arcilla (3,05m).



**Figura 44. Secuencia litológica identificadas en campo, realizado en el software minero RECMIN. Fuente propia.**

Los análisis realizados por los promotores del proyecto Arcillas blancas venezolanas “ABV”, se especifican en la Tabla 7. Resaltando el tipo de ensayo y el método a utilizar.

**TABLA 7. ENSAYOS REALIZADOS A LOS NÚCLEOS DE LAS PERFORACIONES.**

Tipo de Ensayo	Método Utilizado
Preparación de la muestra	Secado, pulverizado, cuarteado
Determinación de la densidad de la muestra	Hidrometría
Determinación de composición química	Espectroscopia de Fluorescencia de Rayos X por dispersión de energía. (Determinación de contenido de Oxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )).

--	--

Fuente propia.

En la Figura 45. Se puede observar las muestras de arcillas para ejecutar los análisis químicos correspondientes.



Figura 45. Muestras de arcilla para realizar los análisis químicos. Fuente propia.

En la Tabla 8, se especifican los resultados de los análisis químicos, destacando los la perforación que se analizó, los porcentajes de alúmina ( $\%Al_2O_3$ ), óxido de hierro ( $\%Fe_2O_3$ ) y a que profundidad se encontraba la arcilla en metros.

TABLA 8. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS.

Perforación	$\%Al_2O_3$	$\%Fe_2O_3$	Profundidad de la arcilla (m)
P1	27,72	0,63	4,80-7,40
P4	24,68	0,46	0,50-11,00
P5	31,15	0,25	1,50-2,80
P9	25,75	0,27	3,50-4,30
P11	29,82	0,42	4-10,4
P14	25.84	0,51	1,8-8,3

Fuente propia.

La arcilla blanca con contenido entre 22% y 29% de  $Al_2O_3$  y contenido menores al 1% de  $Fe_2O_3$ , es un tipo de arcilla que se caracteriza por su alto contenido de alúmina ( $Al_2O_3$ ) y su bajo contenido de óxido de hierro ( $Fe_2O_3$ ).

La alúmina es un compuesto químico que se encuentra en la naturaleza en forma de óxido de aluminio, y es conocida por su resistencia al calor y su capacidad para formar materiales

refractarios. Por otro lado, el óxido de hierro es un compuesto que le otorga a la arcilla un ligero tono de color amarillo o rojizo.

Esta composición hace que la arcilla sea adecuada para su uso en la fabricación de cerámica de alta calidad, porcelana y otros productos cerámicos. Además, su contenido de alúmina le confiere propiedades refractarias y aislantes, por lo que también se utiliza en la industria de la construcción y en la fabricación de materiales para la protección contra altas temperaturas. La baja presencia de óxido de hierro en la arcilla blanca la hace especialmente adecuada para la producción de cerámica de color claro o blanco, ya que minimiza la posibilidad de que aparezcan manchas de color no deseadas durante el proceso de cocción. Concretamente, esta arcilla blanca es de alta calidad y adecuada para aplicaciones donde se requiere una reducción del color y un contenido de impurezas muy bajo.

### **5.1.3. Estudio Geofísico**

La totalidad de la extensión del terreno se dividió en 4 terrazas, siendo la terraza 1 el objeto de interés en este trabajo de investigación.

Para ello, Geofísicos bajo contratación de los promotores del proyecto Arcillas blancas venezolanas “ABV”, ubicaron electrodos con una separación de 3m entre cada uno de ellos en una extensión de 114 m.

Con anterioridad se realizaron las diferentes calibraciones y pruebas de verificación de los equipos a utilizar, además de realizar acoples maniobras de acople entre e terreno y los electrodos para una adecuada lectura.

Para procesar los datos obtenidos en campo se utilizó el programa Res2DInv, donde se genera pseudo - sección de resistividad aparente y otra pseudo - sección con el modelo teórico del subsuelo, luego el algoritmo de inversión topográfica ajusta ambas pseudo – secciones hasta alcanzar la mínima diferencia cuadrática y producir así el modelo final del subsuelo.

En los resultados se presenta alta variabilidad en los valores de resistividad (Rango entre  $270\Omega\text{m}$  y  $1000\Omega\text{m}$ ), lo que coincide con tabla de resistividades con **ARCILLAS CONSOLIDADAS Y/O SECAS** posiblemente en forma de bloque o paquetes masivos altamente variables.

Hacia el centro del área de la terraza en estudio, los valores de resistividad varían entre los  $814\Omega\text{m}$  a  $1000\Omega\text{m}$ ; lo que asocia niveles mayores de compactación y baja humedad. En las Figuras 46 y 47 se muestran las arcillas in situ de la zona de estudio.



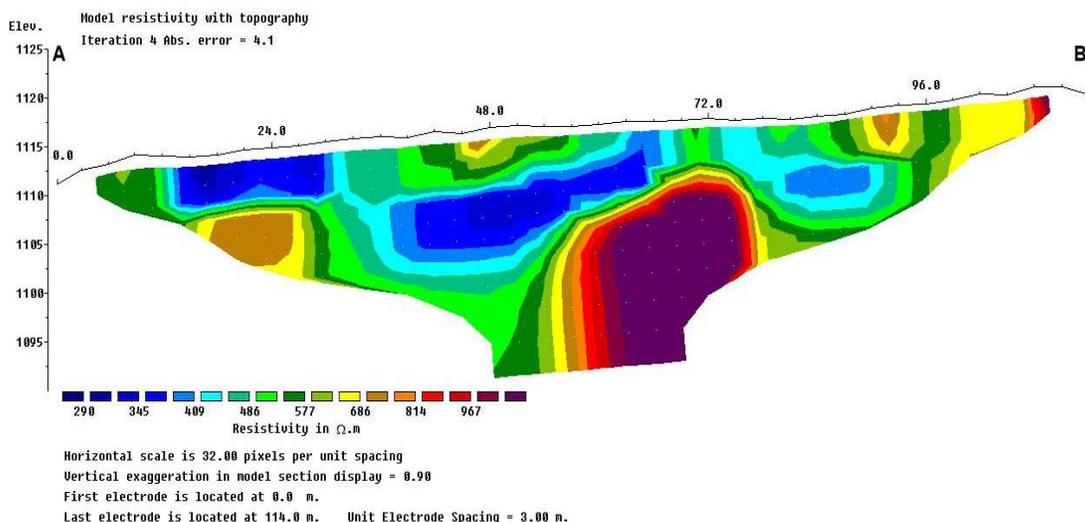
**Figura 46.** Arcillas Blancas masivas, ubicadas en el norte del polígono en estudio. Fuente propia.



**Figura 47.** Arcillas Blancas laminares, ubicadas en el sur del polígono en estudio. Fuente propia

- En el estudio geofísico se observan que los paquetes de arcilla presentan una alta variabilidad tanto en su geometría y distribución como en los valores de resistividad.
- En campo, se observaron estratos masivos, estratos laminados y fracturados adyacentes separados solo por algunos metros.
- Los colores de las arcillas varían entre blanca grisáceas, gris pálido y ocre.

- En el estudio se observó consistentemente rangos altos de resistividad (600 - 1000 $\Omega$ m), lo que se puede interpretar como paquetes de nivel alto de compactación, con poca humedad y alta fracturación o laminación.
- Los estratos de arcilla son variables en su forma, presentándose variables y densas con espesores aproximados a 20m y abarcan la totalidad de la extensión de los perfiles eléctricos.
- El material estéril está compuesto por limos gruesos, arenas sueltas y conglomerados de matriz arenosa, con bloques de lutita y arenisca; predominando el color rojizo oscuro y con baja humedad. El espesor de estas capas oscilan entre 0,5m y 1,5m, lo que refiere una explotación rentable de los bloques de arcilla. Véase en la Figura 48.



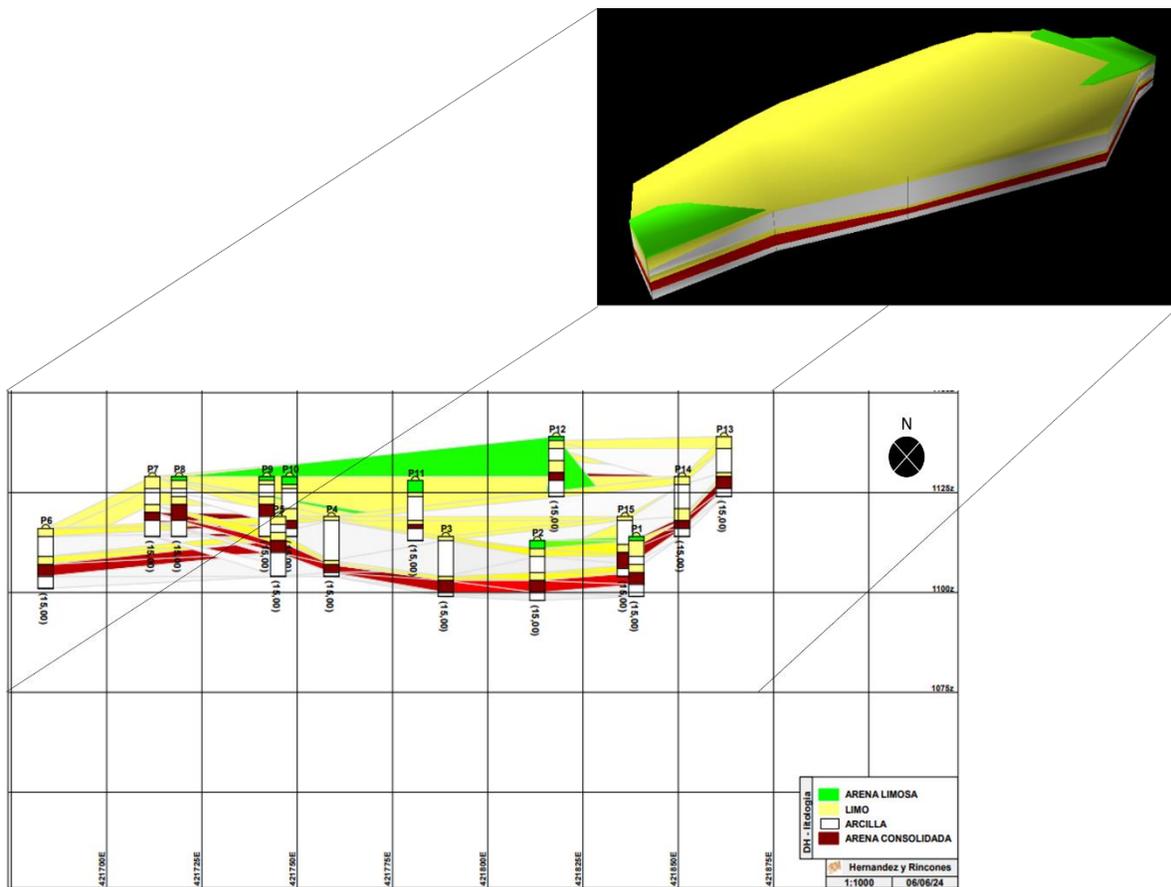
**Figura 48. Resistividades de las Capas Litológicas. Fuente propia.**

## 5.2. RECURSOS.

De acuerdo con identificación del yacimiento (extensión y forma), se plantea el cálculo de recurso con la ayuda del Software RECMIN, creando las superficies y capas de los diferentes materiales presentes en dicho yacimiento. También se hizo uso del programa Microsoft Excel ® 2010, para realizar tablas y cálculos matemáticos.

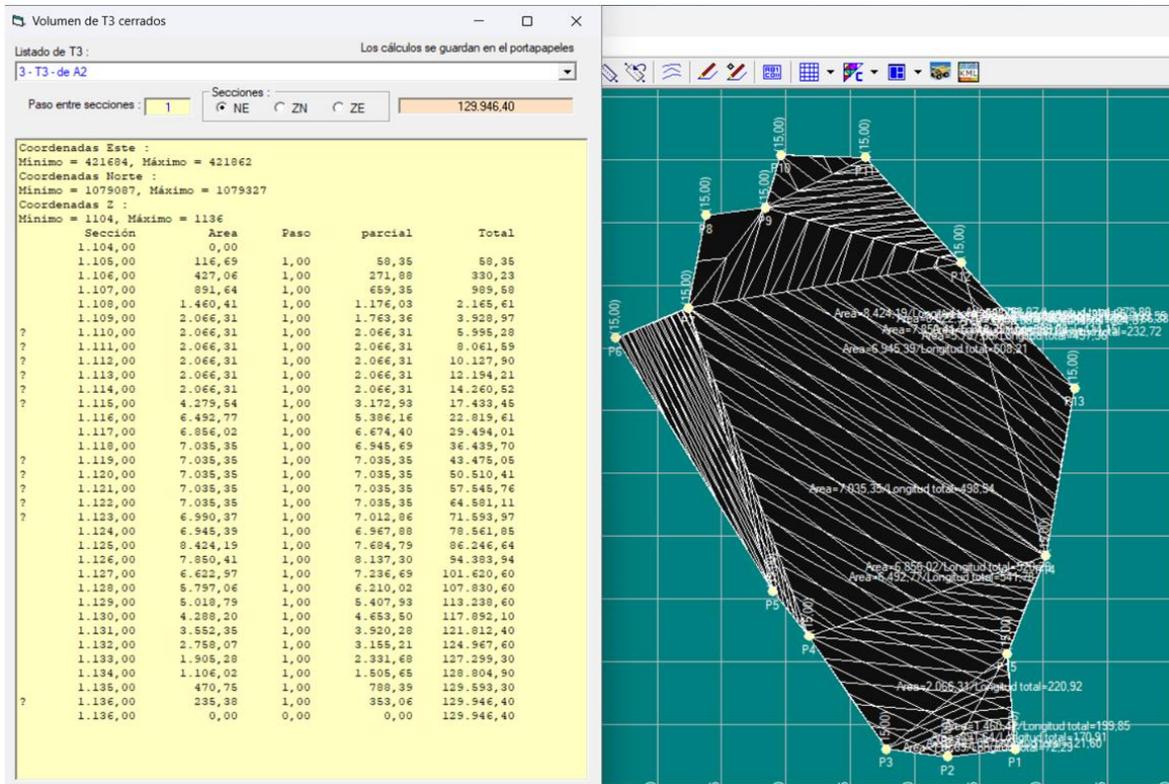
A continuación se presenta el modelado geológico, mostrando el área y espesor de las diferentes litologías observadas. Dicho modelado sirvió de base para el cálculo de recurso.

Además, partiendo del modelado se identificó el método, inicio y orientación de la actividad extractiva, que se describirá más adelante. (Figura 49).



**Figura 49. Modelado Geológico del área de interés, realizado en el software minero RECMIN a escala 1:1000. Fuente propia.**

En la Figura 50, se muestra el cálculo de recurso por el método de los perfiles apoyado en el software minero RECMIN, en el que se realizaron 32 secciones con una distancia de 1m entre secciones.



**Figura 50. Áreas y volumen de las secciones para el cálculo de recurso por el método de los perfiles, realizado en el software minero RECMIN. Fuente propia**

Este método se realizó en cada una de las capas litológicas encontradas a lo largo del área de interés.

A continuación, en las Tablas 9, 10 y 11, se muestran los valores de las áreas y volúmenes, por capas y el total por litologías.

**TABLA 9. ÁREAS DE LAS CAPAS LITOLÓGICAS DEL YACIMIENTO.**

Capa	Descripción	Área (m2)
1	Arena Limosa	13.907,62
2	Limo	26.164,87
3	Arcilla	25.937,41
4	Limo	22.391,86
5	Arena Consolidada	21.243,88
6	Arcilla	24.238,18

Fuente propia.

**TABLA 10. VOLUMEN DE CAPAS LITOLÓGICAS.**

Capa	Descripción	Espesor (m)	Volumen (m3)
1	Arena Limosa	1,33	18.497,13
2	Limo	1,87	48.928,30
3	Arcilla	5,01	129.946,40
4	Limo	1,76	39.409,67
5	Arena Consolidada	2,69	57.146,04
6	Arcilla	3,05	73.926,46

Fuente propia

**TABLA 11. VOLUMEN TOTAL DE LITOLOGÍAS.**

Litología	Descripción	Espesor Total (m)	Volumen Total (m3)
1	Arena Limosa	1.33	18.497,13
2	Limo	3.63	88.337,97
3	Arcilla	8.06	203.872,86
4	Arena Consolidada	2.69	57.146,04

Fuente propia

La tabla 11, muestra los recursos medidos de arcilla para una etapa inicial de extracción. Basados en los estudios geofísicos realizados y revisión de trabajos previos en la zona, los recursos indicados de arcilla representan 24.238,18 m<sup>2</sup> (Tabla 9), de espesor 13m con un volumen de 315.069,34 m<sup>3</sup>.

### **5.3. VIDA ÚTIL DEL YACIMIENTO.**

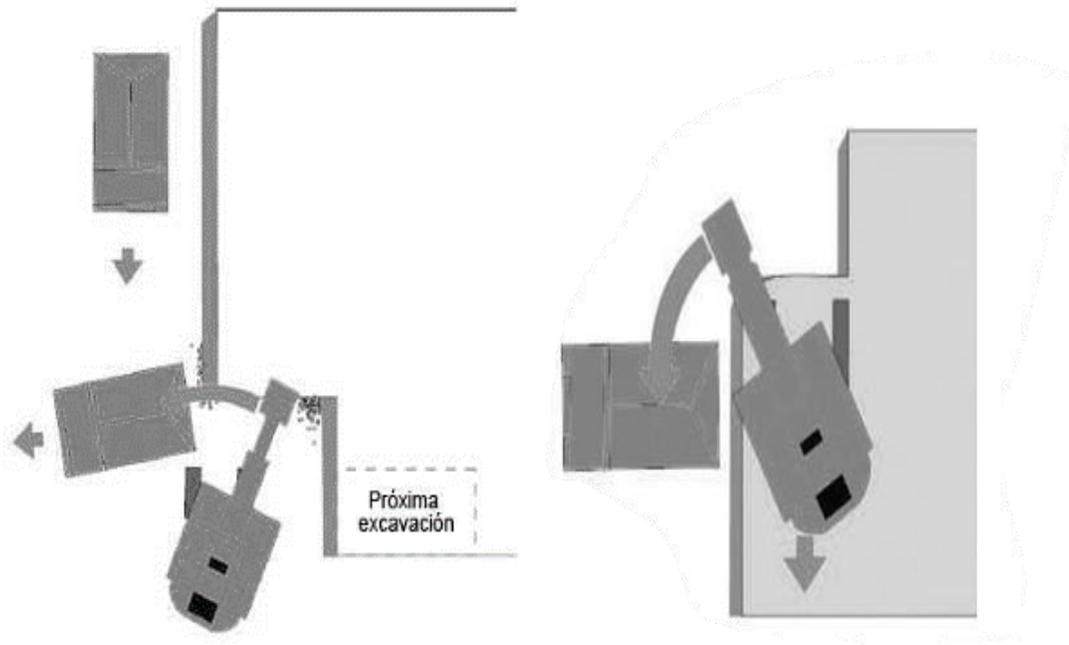
Para una extracción programada de 15000 ton/mes de arcilla, y de acuerdo con los cálculos de volumen mostrados anteriormente la vida útil del yacimiento, se estimaría aproximadamente a 2 años y 5 meses correspondiendo a 20 meses la extracción de arcilla.

### **5.4. EXTRACCIÓN**

#### **5.4.1. Método de Explotación**

Después de un análisis de la geometría del yacimiento, su forma y superposición de las diferentes capas litológicas, se estableció como método de explotación a cielo abierto

denominado stripping mine, con un sistema de explotación llamado terrazas, con orientación de desplazamiento noreste, comenzando las operaciones de descapote y extracción desde la cota más alta (1140m.s.n.m.) del polígono hasta la cota más baja (1110 m.s.n.m.). Como se ve en la Figura 51.



**Figura 51.** En ambos casos se muestran los diferentes escenarios de carga uno por debajo del nivel de la máquina el otro al mismo nivel pero ambas muestran el mismo avance en bloques. Tomado de Manual de Maquinarias pesadas Caterpillar.

#### **5.4.2. Diseño Geométrico del área de trabajo.**

El tipo de yacimiento presente en el área de estudio es montañoso, la serranía exhibe un terreno irregular y ciertamente de topografía en forma de loma, ajustándose al método de explotación stripping mine.

##### **5.4.2.1. Diseño de banco.**

En relación al desarrollo de los bancos se toman ciertos parámetros que permitan el mejor aprovechamiento del material además de las condiciones de seguridad necesarias para las operaciones mineras.

- Desarrollo de banco.

Las características de los diseños de bancos propuestos se basan en la información recolectada y tomada en campo para el desarrollo del mismo.

- Altura de banco.

La altura de banco se determinó estableciendo el equipo de mayor altura de trabajo de la zona de estudio.

Para la cantera se propone dos excavadoras hidráulicas:

- Caterpillar, modelos 336F - M2.55TB (8' 4") , con altura máxima de corte de 9.990 m y profundidad máxima de excavación de 6.680 m.

Basado en esto, la altura de los bancos en la cantera será de 5 m. Esta altura es ideal para los equipos que propuestos en el diseño minero: las excavadoras Caterpillar, modelos 336F - M2.55TB (8' 4"), que poseen alturas máximas de corte casi 10 m y profundidad de corte de casi 7m, pueden realizar los trabajos de arranque directo y de manteniendo en los taludes de trabajo y finales. Además de cumplir con una visión de una cantera al generar alturas de taludes que brinden seguridad para su personal en las labores minera y favorezcan la estabilidad de los bancos.

- Angulo de banco.

El ángulo de banco es de suma importancia porque el mismo prevé la estabilidad de los taludes, en especial los taludes finales donde la operación minera de extracción se da como culminada en esa fase. Por los estudios realizados se sabe que el ángulo ideal para la litología, (arena limosa, limo, arcillas y arena consolidada), presente en los núcleos extraídos de las perforaciones.

Debido a que no se hicieron ensayos geomecánicos, fue necesario realizar un modelado de inestabilidad de talud en el programa Slide2 de Rocsciencia para analizar el factor de seguridad (Fs.), partiendo de 4 casos, (a, b, c y d) con ángulos de banco de 90°, 60°, 45° y 30°. Véase en la Figura 52.

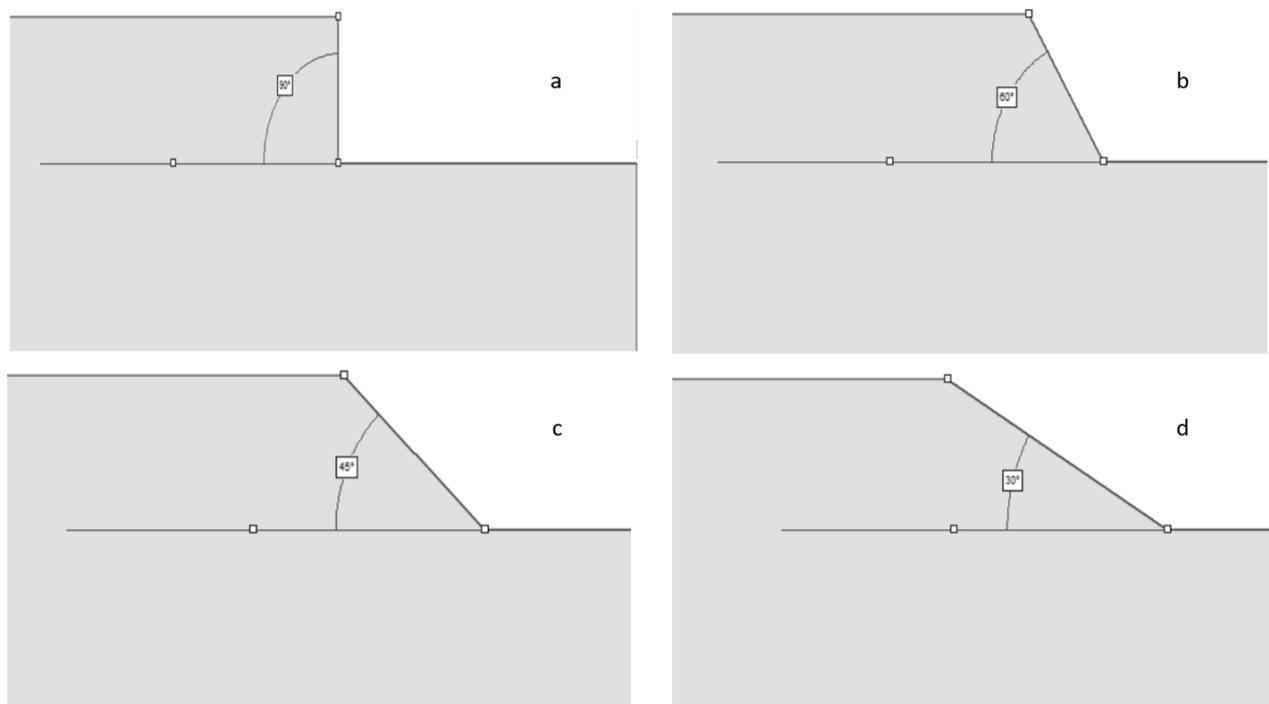


Figura 52. Casos a (90°), b (60°), c (45°) y d (30°), para realizar el modelado de estabilidad de talud en el programa Slide2 de Rocsciencia. Fuente propia

En cada caso, se analizaron los bancos con un peso unitario de la arcilla de  $1.6 \text{ g/cm}^3$  ( $14 \text{ kn/m}^3$ ), propuesto en un estudios de Hoek y Bray (1991). Como se muestra en la Tabla 12

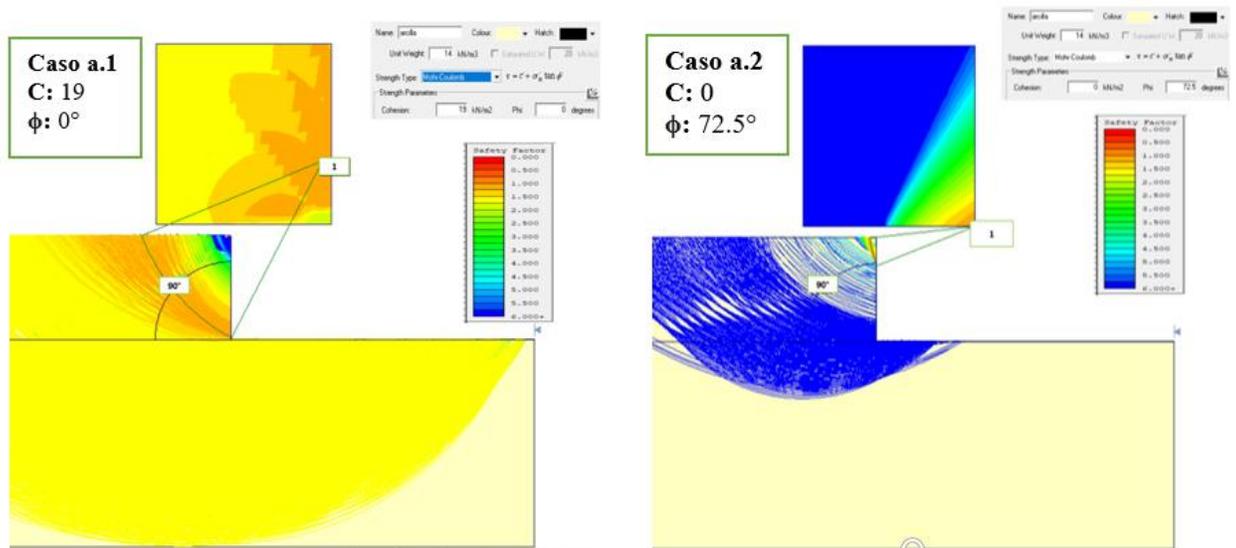
TABLA 12. Valores típicos de peso unitario, Angulo de fricción y cohesión de suelos.

Tipo	DESCRIPCIÓN Material	Peso unitario ( Saturado/ seco)	Angulo de fricción (°)	Cohesión (kPa)
Sin cohesión	Arena suelta, tamaño de grano uniforme	19/14	28-34	
	Arena densa, tamaño de grano uniforme	22/17	32-40	
	Arena suelta, diferentes tamaños de grano	20/16	34-40	
	Arena densa, diferentes tamaños de grano	21/18	38-46	
	grava, tamaño de grano uniforme	22/20	34-37	
	Arena y grava, mezcla de tamaños	19/17	48-45	
	Roca fracturada o volada: Basalto	22/17	40-50	
	Roca fracturada o volada: Granito	20/17	45-50	
	Roca fracturada o volada :Limolita	19/16	35-40	
	Roca fracturada o volada: Arenisca	17/13	35-45	
	roca fracturada o volada : Lulitas	20/16	30-35	
Cohesivos	Montmorillonita (bentonita blanda )	13/6	7-13	10-20
	Arcilla muy blanda	14/6	12-16	30-10
	Arcilla blanda, ligeramente orgánica.	16/10	22-27	20-50
	Arcilla Glaciar blanda	17/12	27-32	30-70
	Arcilla Glaciar rígida	20/17	30-32	70-150
	Rocas Igneas duras:			
	granito, basalto, porfidos	25 a 30	35-45	35000-55000
	Rocas Metamórficas:			
	cuarcita, neiss, pizarras	25 a 28	30-40	20000-40000

Fuente: Hoek y Bray. (1991).

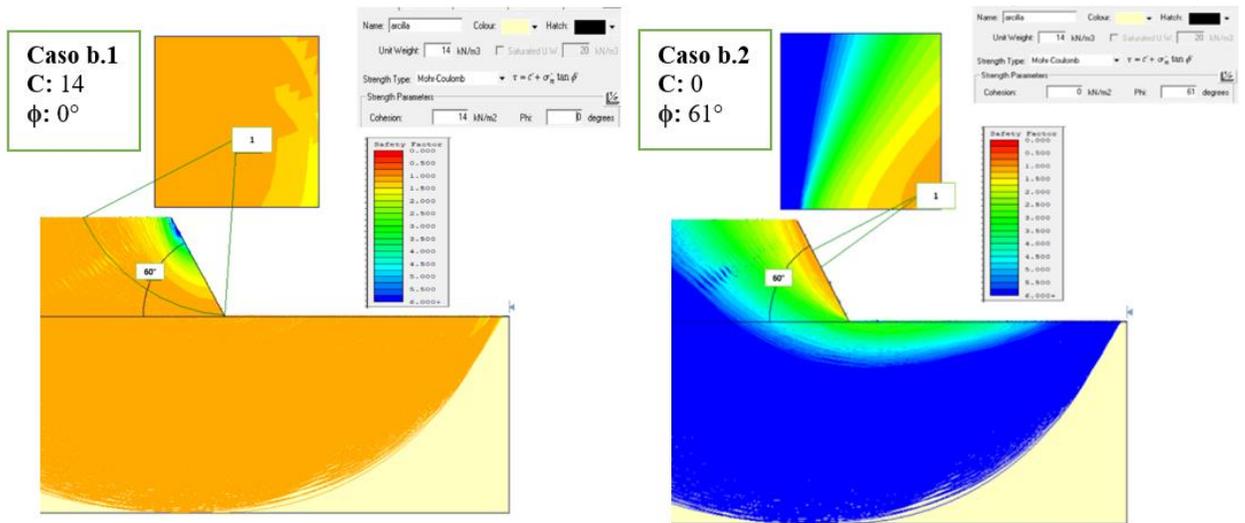
Para obtener los datos de ángulo de cohesión y fricción interna, usando los método Bishop simplificado y Janbu, de se realizó una iteración comenzando por fijar el ángulo de fricción interna en 0 y los valores de cohesión mayores a 1 hasta alcanzar el valor de factor de seguridad 1, luego se fijó el valor de la cohesión en 0 y los ángulo de fricción interna mayores 1 hasta alcanzar el valor de factor de seguridad 1, con el fin de observar el comportamiento de eso valores con respecto al factor de seguridad y el Angulo de talud.

Para el caso a, el ángulo del banco es de  $90^\circ$ , se tomó el ángulo de fricción interna como 0 y se itero la cohesión hasta alcanzar  $19 \text{ kn/m}^2$  (caso a.1), dando como resultado un factor de seguridad de 1, luego se tomó la cohesión como 0 y se itero el ángulo de fricción interna hasta alcanzar  $72.5^\circ$  (caso a.2), dando como resultado un factor de seguridad critico de 1, tal como se ve en la Figura 53.



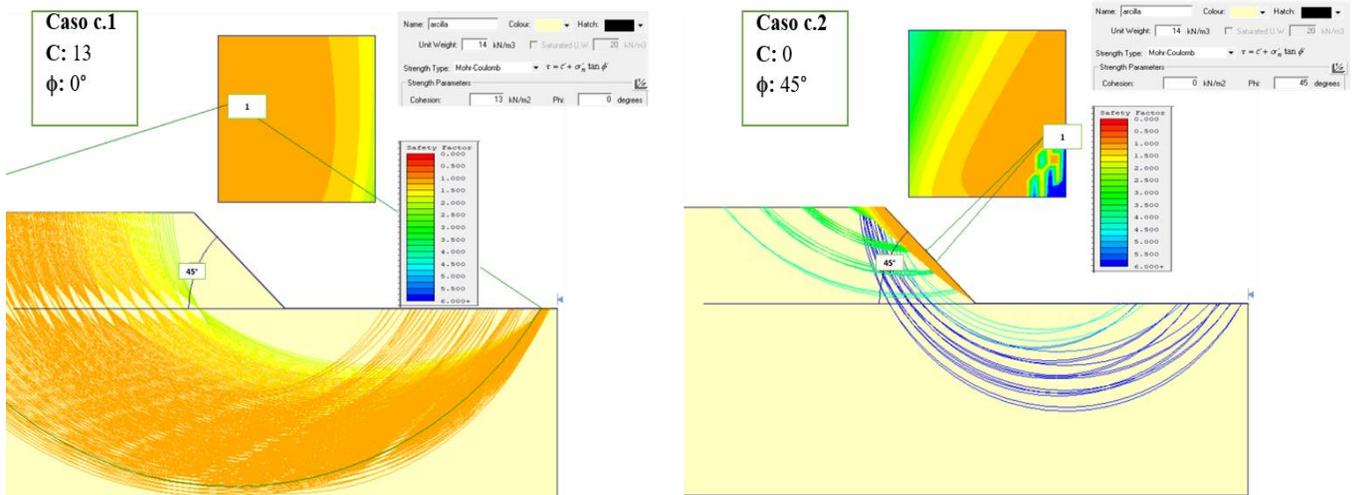
**Figura 53. Caso a donde se realiza la iteración de los valores de cohesión y fricción interna para encontrar el factor de seguridad 1 en el programa Slide2. Fuente propia**

Posteriormente, para el caso b, el ángulo del banco es de  $60^\circ$ , se tomó el ángulo de fricción interna como 0 y se itero la cohesión hasta alcanzar  $14 \text{ kn/m}^2$  (caso b.1), dando como resultado un factor de seguridad critico de 1, luego se tomó la cohesión como 0 y se itero el ángulo de fricción interna hasta alcanzar  $61^\circ$  (caso b.2), dando como resultado un factor de seguridad de 1, tal como se ve en la Figura 54.



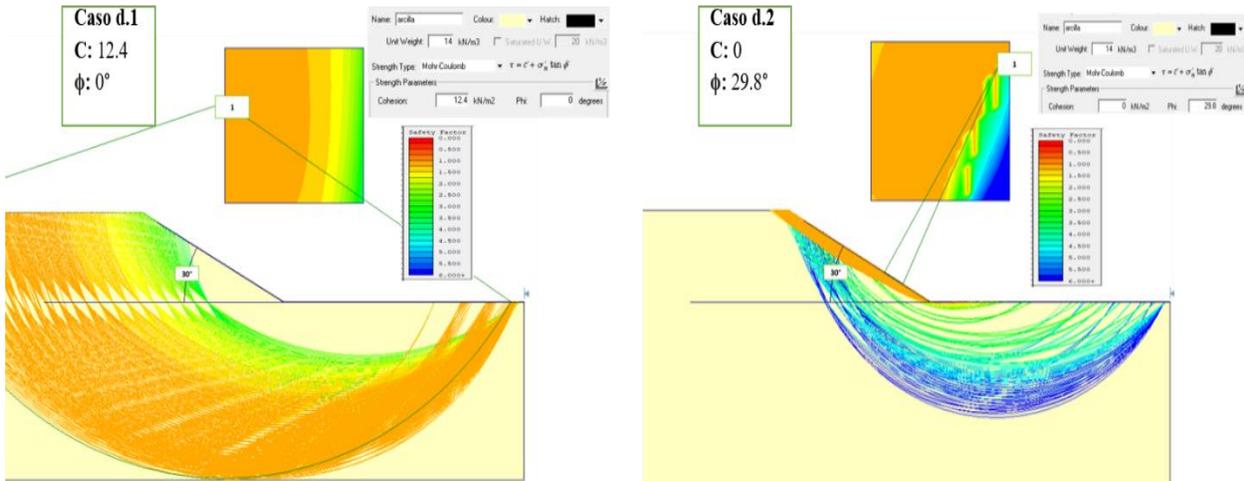
**Figura 54.** Caso b donde se realiza la iteración de los valores de cohesión y fricción interna para encontrar el factor de seguridad 1 en el programa Slide2. Fuente propia.

Seguidamente, para el caso c, el ángulo del banco es de  $45^\circ$ , se tomó el ángulo de fricción interna como 0 y se itero la cohesión hasta alcanzar  $13 \text{ kn/m}^2$  (caso c.1), dando como resultado un factor de seguridad critico de 1, luego se tomó la cohesión como 0 y se itero el ángulo de fricción interna hasta alcanzar  $45^\circ$  (caso c.2), dando como resultado un factor de seguridad critico de 1, tal como se ve en la Figura 55.



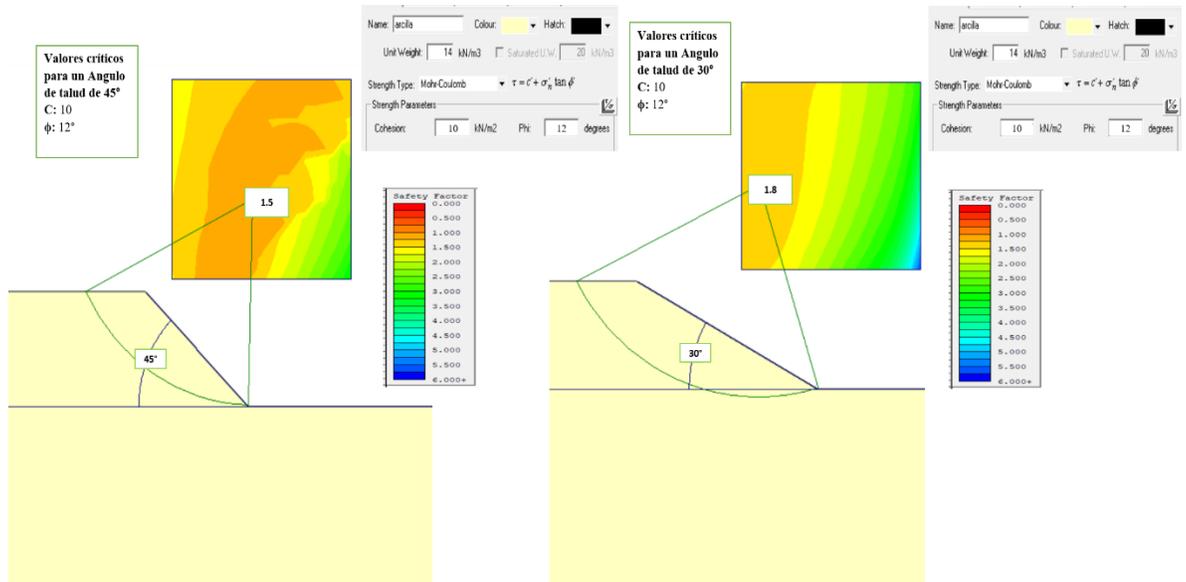
**Figura 55.** Caso c donde se realiza la iteración de los valores de cohesión y fricción interna para encontrar el factor de seguridad 1 en el programa Slide2. Fuente propia.

Por último, para el caso d, el ángulo del banco es de  $30^\circ$ , se tomó el ángulo de fricción interna como 0 y se iteró la cohesión hasta alcanzar  $12.4 \text{ kn/m}^2$ , dando como resultado un factor de seguridad crítico de 1, luego se tomó la cohesión como 0 y se iteró el ángulo de fricción interna hasta alcanzar  $29.8^\circ$ , dando como resultado un factor de seguridad crítico de 1, tal como se ve en la Figura 56.



**Figura 56. Caso d donde se realiza la iteración de los valores de cohesión y fricción interna para encontrar el factor de seguridad 1 en el programa Slide2. Fuente propia.**

En vista que a medida que el ángulo de banco disminuía, nos pudimos percatar que los valores también, eso quiere decir que mientras más bajo es el ángulo del talud, el mismo será más estable, por tal razón se realizó un quinto modelado con taludes de  $45^\circ$  y  $30^\circ$  con el fin de encontrar los valores más críticos que pueden presentar la zona de estudio, dando como resultado final una cohesión de  $14 \text{ kn/m}^2$  y un ángulo de fricción interna de  $12^\circ$ , como se muestra en la Figura 57.

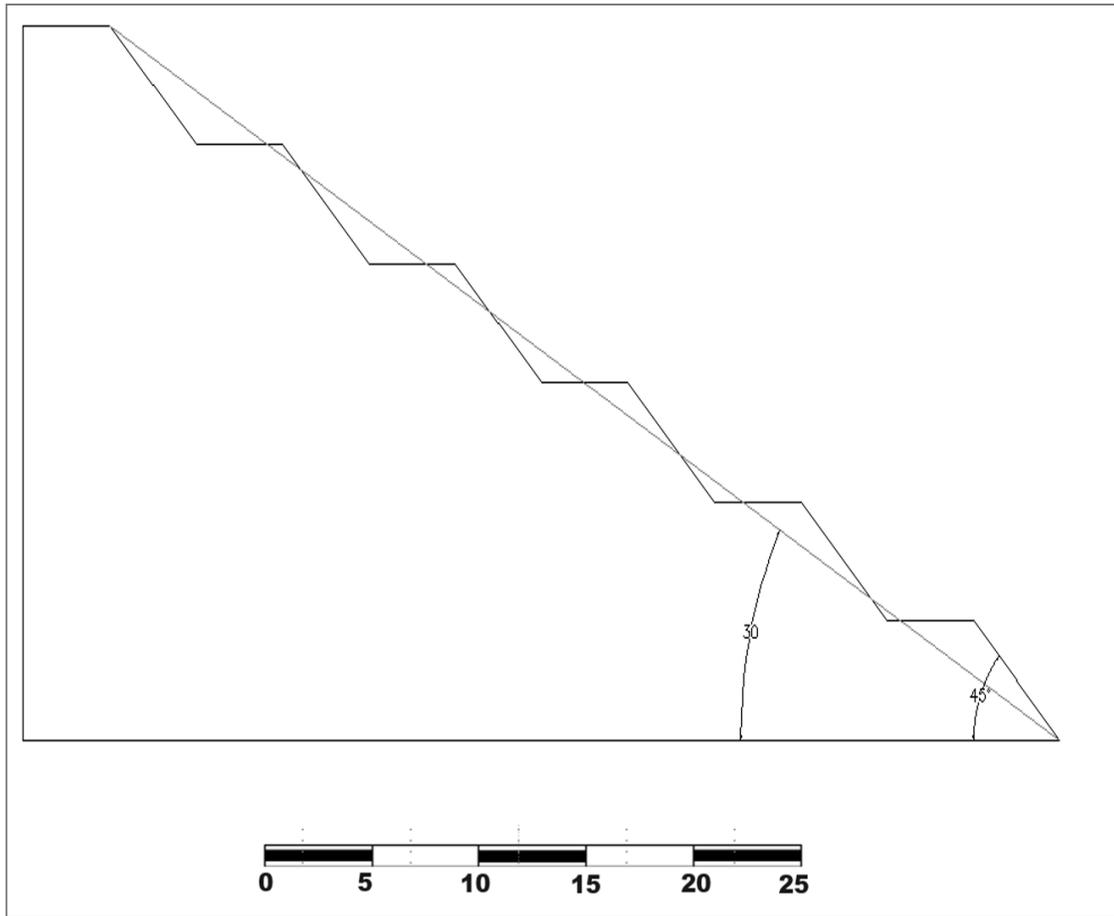


**Figura 57. Iteración de los valores críticos de cohesión y fricción en el programa Slide2. Fuente propia.**

Vale destacar que el factor de seguridad para un ángulo de talud de  $45^\circ$  es de 1.5, comparando con lo propuesto por Bernal (2015) en la tabla 3 en el capítulo de 3 se concibe un talud casi permanente, por otra parte, se cotejaron los valores obtenidos de cohesión y fricción interna propuesto en un estudios de Hoek y Bray (1991) en la tabla 12, el material se asemeja a una arcilla blanda, con un peso unitario saturado (sin presencia de agua).

Para el talud y los bancos a desarrollar en el frente de la zona de estudio, tendremos los siguientes ángulos, como se muestran en la Figura 58.

- Angulo de talud final:  $30^\circ$ .
- Angulo de banco:  $45^\circ$ .



**Figura 58. Ángulos para la geometría del frente de la zona de estudio, realizados en Autodesk Civil 3D. Fuente: fuente propia.**

Todos estos ángulos parten del principio del estudio de estabilidad de talud realizado por el software Slide2, haciendo énfasis en proporcionar la mayor estabilidad del frente de explotación.

- Talud de banco.

A fin del desarrollo de las bermas se consideraran dos dimensiones esencialmente. El ancho mínimo operacional de trabajo y el talud final al agotar el material en ese nivel para su cierre paulatino o final de mina.

- Ancho mínimo.

Para el ancho mínimo operativo se calculó en base a las dimensiones de los equipos de carga y acarreo en el frente de trabajo considerando el espaciado mínimo para esta operación. Para esta etapa de trabajo se cuenta con los siguientes equipos de trabajo:

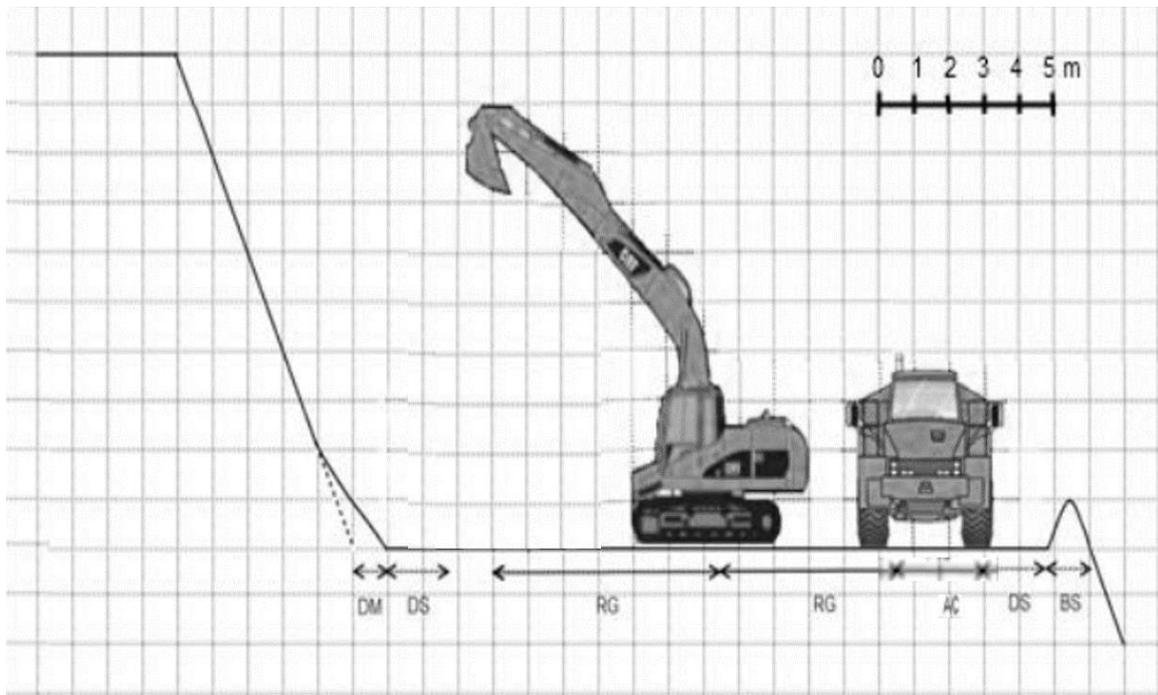
Equipos de carga:

- Excavadores Caterpillar, modelos 336F - M2.55TB (8' 4"), con un radio de giro de carga de 3.53m

Equipos de acarreo:

- Camiones articulado Caterpillar 730 con un ancho de 3.065 m

Además de los equipos se debe considerar otros aspectos como son la berma de seguridad, las distancia de seguridad y el derrame de material como se observa en la Tabla 13 y Figura 59.



**Figura 59. Elementos del ancho mínimo de operación. Tomado de Portal Minero (2006)**

Donde:

- BS: Berma de seguridad.

- DS: Distancia de seguridad.
- AC: Ancho del camión.
- RG: Radio de giro del equipo de carga.
- DM: Derrame de material.
- AO: Ancho operativo.

El ancho operativo se calculó aplicando la siguiente formula:

$$\text{Ancho mínimo operativo} = BS + 2 \times DS + AC + 2 \times RG + DM$$

**TABLA 13. VALORES DEL ANCHO MÍNIMO OPERATIVO.**

ANCHO MINIMO OPERATIVO	
BS	1.4 m
AC	3.5 m
DS	2 m
RG	7.5 m
DM	1 m
AO	23.84 m

**Fuente: Elaboración propia.**

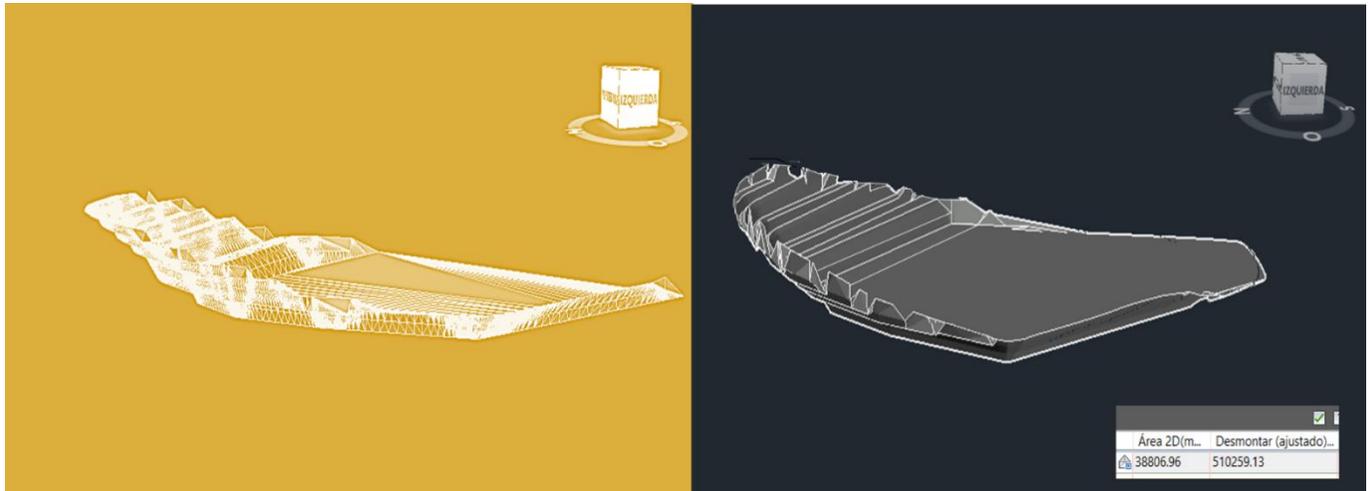
$$AO: 1.4 + (2 \times 2) + 3.5 + (2 \times 7.5) + 1 = 23.84m.$$

AO: 24 m.

- Ancho o talud final.

Para el desarrollo las áreas de trabajo y las operaciones unitarias, es muy importante conocer los anchos operativos, en especial el ancho mínimo final. Mientras el proceso de extracción de mineral se va desarrollando el área de trabajo es muy variable y por lo general debe ser amplio para las maniobras de carga, a medida que estas áreas disminuyen, es necesario tener el ancho mínimo operativo y los equipos adecuados para esta fase, la excavadora Caterpillar, modelos 336F - M2.55TB, es una buena opción como equipo de carga y los equipos de acarreo como los Camiones articulado Caterpillar 730, siendo estos los referentes para el valor mínimo de operación es de 24 m. Este ancho permite la carga del material próximo a finalizar una fase de extracción de mineral arrancado en el área.

Para finalizar, un banco o talud de trabajo con los datos obtenidos por el programa de análisis de talud Slide, que genero un factor de seguridad de 1.5, orientado para trabajar con una altura de banco de 5 m, el ancho final de talud se consideraron las dimensiones de los equipos, siendo el excavador el más ancho (5m), en Autodesk Civil 3D, se realizó un modelado del talud y bancos final, dando como resultado un área de extracción de 38.806 m<sup>2</sup> y un volumen a extraer de 510.259m<sup>3</sup> tal como se observa en la Figura 60.



**Figura 60. Vista 3D de los bancos y talud final en vista conceptual y superficie, realizado en Autodesk Civil 3D, donde se observa el área de extracción y el volumen a desmontar. Fuente propia.**

## **5.5. PRODUCTIVIDAD.**

Para definir un sistema de arranque eficiente para extraer, cargar y transportar 15.000 Toneladas de arcilla mensualmente, es necesario considerar las vías, la distancia y el equipo disponible.

### **5.5.1. Vías.**

Para el desarrollo de las pistas en función de optimizar el tránsito de los equipos operativos y sobre todo de los equipos de acarreo que están en constante movimiento transportando el material, se realizó un diseño de vías, en el programa Autodesk Civil 3D, con la capacidad de doble vía y vía simple según sea el caso y fase de explotación, como se muestra en la Figura 61.

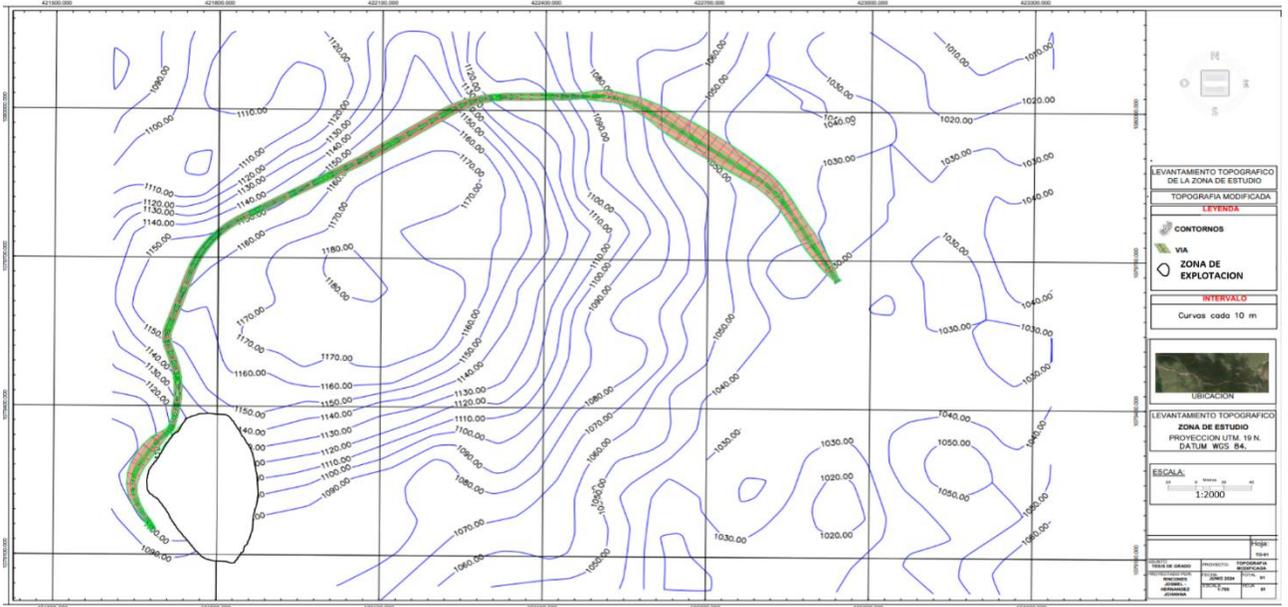
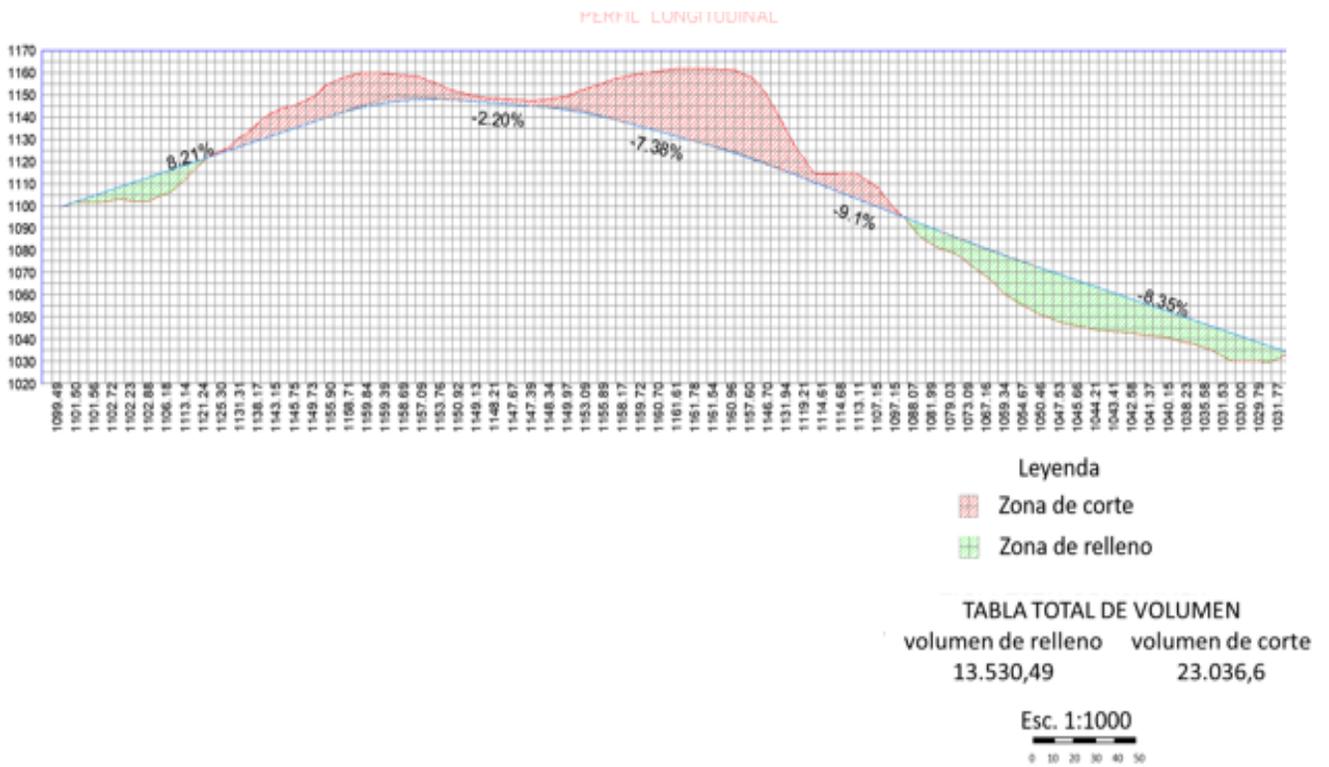


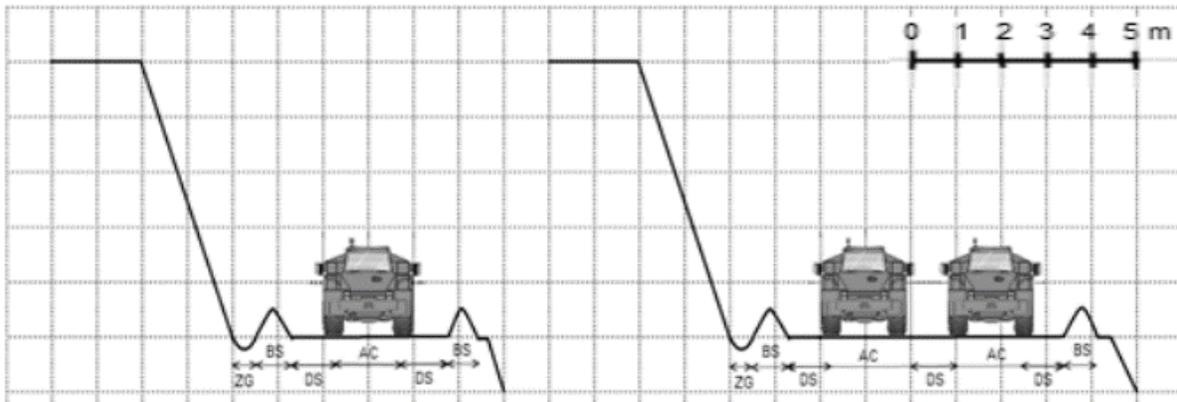
Figura 61. Diseño de vía realizado en el programa Autodesk civil 3D. fuente propia.

La vía presenta una inclinaciones de 2% a 9%. En la figura 62, podemos observar un perfil longitudinal, donde muestra la variabilidad de las pendientes, puntualizando las zonas y el donde se debe realizar corte y relleno del material y el volumen de las mismas.



**Figura 62. Figura. Perfil longitudinal donde se observan los valores de las pendientes de la vía y las zonas de corte y relleno. Realizado en el programa Autodesk civil 3D. Fuente propia.**

Para el cálculo del ancho de la vía de acarreo (véase en la Tabla 14), se tomaron las dimensiones de los equipos de acarreo de material por ser el más ancho, (Camiones articulado Caterpillar 730), además de las bermas de seguridad, zanja de drenaje y distancias de seguridad (Figura 63).



**Figura 63. Figura xx. Diseño de vía simple (rampa de acceso) y de doble vía (vía de acarreo), para la zona de estudio. Fuente: propia.**

Donde:

- AC: Ancho del camión.
- ZG: Zanja.
- BS: Berma de seguridad.
- DS: Distancia de seguridad.
- AV: Ancho de la vía.

El ancho de la vía se calculó aplicando la siguiente formula:

- Ancho de vía (1 canales) =  $AC + ZG + 2BS + 2DS$ .
- Ancho de vía (2 canales) =  $2AC + ZG + 2BS + 3DS$ .

**TABLA 14. VALORES DEL ANCHO DE LA VÍA**

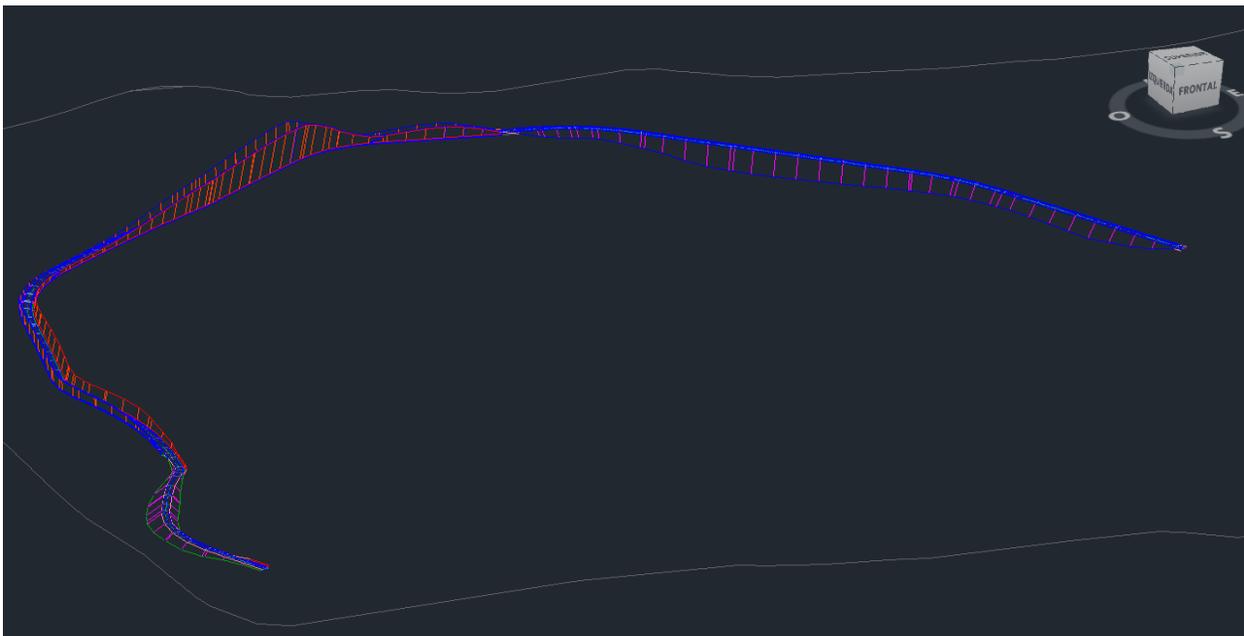
ANCHO DE LA VÍA		
	1 CANAL	2 CANALES
AC	3,5 m	2 X 3,5m
ZG	1 m	1

BS	1,4 m	2X1,4m
DS	1,5 m	3X1,5m
AV	9m	13,8m

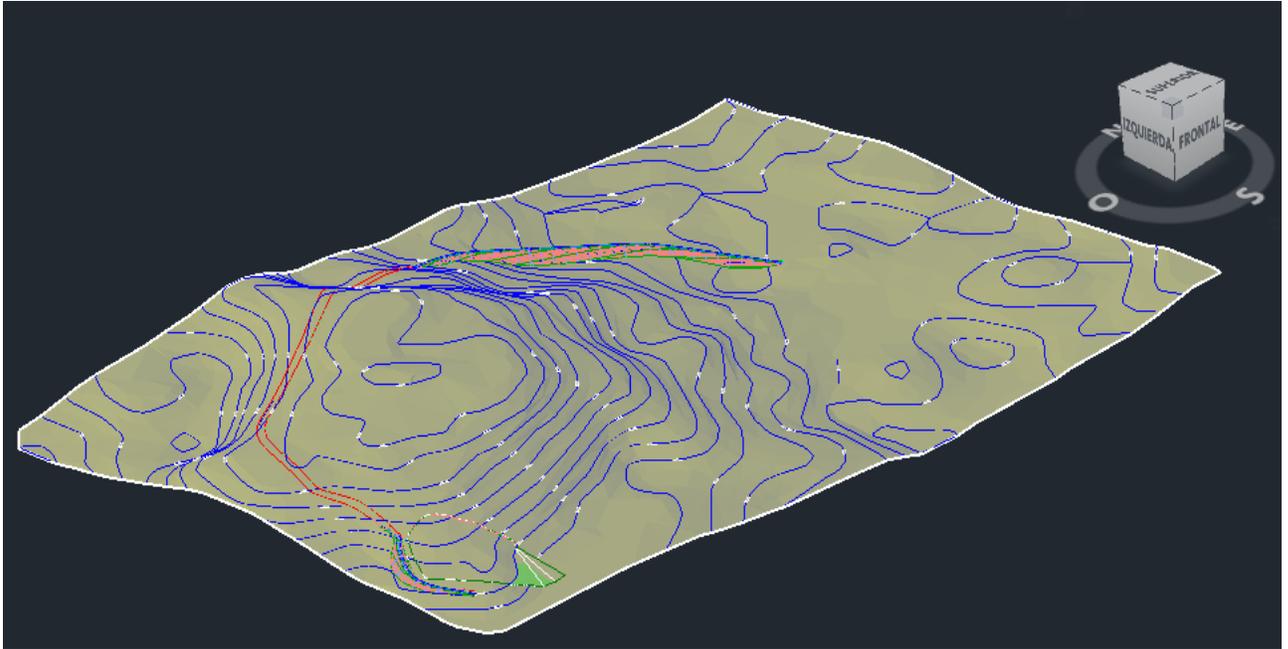
**Fuente: Elaboración propia.**

- AV (1 canal):  $3,5 + 1 + (2 \times 1,4) + 2 \times 1,5 \text{ m} = 8,9 \approx 9 \text{ m}$ .
- AV (2 canales):  $2 \times 3,5 + 1 + 2 \times 1,4 + 3 \times 1,5 = 13,8 \approx 14 \text{ m}$ .

Motivado a la seguridad y facilidad de tránsito de los equipos de acarreo, el diseño más útil de vía de 2 canales, el fin de evitar inconveniente de movilidad y accidentes. Tomando en cuenta las dimensiones de los equipos se obtuvo una distancia de seguridad de 1,5 m y las bermas de seguridad con mitad de la altura del caucho de estos equipos más alto, por lo cual la berma tiene una dimensión de 0,7 de alto por 1,4m de ancho, las zanjas desarrolladas tienen la dimensión de 1 m de ancho por 0,5 m de profundidad. Con estas características de vialidad, se obtiene un ancho de 14 m. La vía de acarreo presenta una distancia desde el frente de explotación hasta el almacén del material de 2,5 km desde la cota 1110 hasta la cota 1035, con inclinaciones entre 2% a 9%. Como se puede observar en la Figura 64 y 65. El diseño de vía simple será tomado en consideración para las rampas y vías de acceso.



**Figura 64. Vista 3D de la vía, que parte desde el frente de explotación hasta el almacenamiento del material extraído, realizado en Autodesk Civil 3D.**



**Figura 65. Vista 3D de la vía en la superficie generada por la topografía, que parte desde el frente de explotación hasta el almacén del material, realizado en Autodesk Civil 3D.**

### **5.5.2. Operaciones de Extracción**

Las operaciones de extracción estarán definidas en:

- Arranque, corte y carga directa.
- Acarreo.
- **Arranque, Corte y Carga.**

Considerando las tareas iniciales de descapote (Limpieza), aperturas de vías, caminos y rampas, acondicionamiento de carga de material estéril y arcilla.

La metodología de carga será directa, arranque in situ y cargado al camión. Para esta operación se propone utilizar una excavadora sobre orugas.

- **Excavadora.**

Propuesta para el cargue directo de los camiones, haciendo más dinámica la maniobra de carga, además de mayor amplitud en el alcance de operación.

- **Cargadores Frontales.**

Será utilizado para el mantenimiento del frente de extracción, de vías y rampas, escombrera y empuje de material acumulado. Además es buena opción para la carga de materiales a la hora de una avería o reparación de las excavadoras.

- **Tractor de Orugas.**

Es una maquina ideal para desplazamientos en caminos difíciles, y fundamental para proyectos de movimientos de tierra por su gran capacidad de empuje.

• **Acarreo.**

Para la operación de acarreo se seleccionó camiones articulados ya que por poseer tracción en todas sus ruedas, e independencia del sistema de suspensión trasera de la delantera permiten que estas se mantengan permanentemente en contacto con el terreno, evitando así el patinaje y desgastes, ya que su fuerza de tracción es más estable, por ello es el equipo más apto para la carga adecuada en este tipo de suelo en el que se está trabajando.

**5.5.3. Sistema de producción:**

Volumen Mensual: 15.000 toneladas de arcilla equivalentes a 9.375,00 m<sup>3</sup> (considerando una densidad de 1,60 Ton/ m<sup>3</sup>).

Ciclo de Carga/Acarreo: para transportar 9.375,00 m<sup>3</sup> con camiones de 13,30 m<sup>3</sup> se necesitaran 705 ciclos (9.375/13,30=704,88).

Tiempo de trabajo: Asumiendo un turno de trabajo de 8 horas diarias, 5 días a la semana representando 22 días al mes, se obtienen 176 horas de trabajo al mes.

Ciclos por hora: se necesitan 4 ciclos (705 ciclo/176horas = 4 ciclos).

Tiempo de ciclo: se requiere aproximadamente que cada ciclo tenga un tiempo de 15 minutos (1hr/4 ciclos/hr).

• **Equipos y Operación:**

1. Arranque y carga: el excavador será el encargado de arrancar y cargar el material de arcilla y estéril al volteo.
2. Acarreo: el volteo con arcilla será transportado al lugar de descarga que será el galpón de almacenamiento que está ubicado a 2,5 kilómetros del frente de extracción

3. Descarga: una vez el volteo llegue al galpón de almacenamiento este depositara el material en el galpón para su posterior retorno.
4. Retorno: el camión se trasladar al frente de extracción para ser cargado nuevamente de material. Esta distancia de retorno será igual a la de acarreo del material 2,5 kilómetros.

Este proceso se realizará durante toda la jornada laboral.

- **Eficiencia y Rendimiento:**

**Tiempo de carga:** 3 minutos (estimación aproximada para un ciclo de carga mínima 24,60 segundos.)

**Tiempo de acarreo:** para una velocidad entre los 10 km/hr y 15 km/hr 12 minutos (2,5 kilómetros de ida)

**Tiempo de descarga:** 1,50 minutos entre acomodar el camión para la descarga del material, subir y bajar la tolva y arrancar el camión.

**Tiempo de retorno:** para una velocidad entre los 15 km/hr y los 20 km/hr, 9 minutos (2,5 kilómetros).

Tiempo total del Ciclo: **25,5 minutos.**

Considerando el tiempo mínimo para cada ciclo de operación (28 minutos), y las cantidades de ciclo por hora que se requieren para el cumplimiento de la producción mensual, es necesario evaluar las cantidades de equipos que participaran en las operaciones extractivas. En la Figura 66, se puede observar una simulación del ciclo minero tomando en cuenta los tiempos de cada fase.



Figura 66. Ciclo Minero. Fuente propia

- **Operaciones de desmonte:**

Aunque el desmonte del material estéril no representa un interés de valor económico es necesario considerar que se requiere de tiempo de trabajo tanto humano como mecánico, así como, costos de mantenimiento e insumos.

- **Tiempo de carga:** 3 minutos.
- **Tiempo de acarreo:** para una velocidad entre los 10 km/hr y 15 km/hr 2 minutos (345 m ubicación de la escombrera).
- **Tiempo de descarga:** 2 minutos.
- **Tiempo de retorno:** para una velocidad entre los 15 km/hr y los 20 km/hr, 3 minutos (345 m).

Tiempo total del Ciclo: **10 minutos**.

#### 5.5.4. Producción de Equipos y Maquinarias.

En la planificación de un diseño minero para la explotación de materiales, una de las primeras cosas que se debe hacer es estimar o calcular un valor teórico de producción, apoyándose en formulas. Estos valores, mediante vayan avanzando las operaciones irán ajustándose, para así obtener el rendimiento más óptimo.

Así mismo, tomando en cuenta la relación estéril-arcilla (1:2), permitirá realizar los cambios que sean necesarios a fin hallar la mejor rentabilidad de las operaciones.

#### **Formula General de Cálculo de Producción de los equipos móviles.**

$$Q = q \times N \times E$$

La producción (Q) puede darse en metros cúbicos o toneladas.

- Q: Producción por hora ( $m^3/h$ ) o (ton/h).
- q: Producción por ciclo ( $m^3$ ) o (ton).
- N: Numero de ciclos por hora.
- E: Factor de Eficiencia.

$$q = ql \times K$$

- ql= Capacidad Colmada del Cucharón, según especificaciones del fabricante.
- K= Factor de llenado del cucharón (%).

$$N = 60/Tc \text{ (1/hr)}$$

- Tc= Tiempo de ciclo en min.

#### **Tc= tiempo estándar del ciclo x factor de conversión**

A continuación se presentaran diferentes tablas referenciales a los valores requeridos para el cálculo de producción de las maquinarias ( $m^3/h$ ), y equipos, bajo condiciones de trabajo, material y método de carga. (Véase desde la Tabla 15 hasta la 33), en ellas se podrán observar diferentes condiciones de trabajo, factores llenado, las eficiencia de la máquina y tiempo del ciclo de según sea la posición de carga que se elija.

- Excavador.

**TABLA 15. FACTOR DE LLENADO PARA ALGUNOS MATERIALES.**

<b>MATERIAL</b>	<b>FACTOR DE LLENADO (% de la capacidad colmada)</b>
Suelo natural arcilloso, arcilla arenosa, tierra suave	100 – 120
Tierra seca, tierra arenosa	95 – 110
Suelo natural arenoso con grava, arcilla dura y compacta	80 – 90
Roca bien fragmentada por voladura	60 – 75
Roca mal fragmentada por voladura	40 – 50

**Fuente: Solanilla. (2003).**

**TABLA 16. TIEMPO ESTÁNDAR DE CICLO DE EXCAVADORA (SEG).**

<b>PESO DE LA MÁQUINA TON.</b>	<b>CAPACIDAD DEL CUCHARÓN m<sup>3</sup></b>	<b>ÁNGULO DE GIRO</b>	
		<b>45° A 90°</b>	<b>90° A 180°</b>
6	Hasta 0.36	10 a 13	13 a 16
8 a 12	Hasta 0.60	11 a 14	14 a 17
15 a 20	Hasta 1.20	13 a 16	16 a 19
20 a 23	Hasta 1.26	14 a 17	17 a 20
23 a 36	Hasta 1.80	15 a 18	18 a 21
36 a 44	Hasta 2.20	16 a 19	19 a 22
65 a 70	Hasta 4.30	18 a 21	21 a 24
95 a 105	Hasta 6.30	22 a 25	25 a 28
160	Hasta 11.00	24 a 27	27 a 30

**Fuente: Solanilla. (2003).**

**TABLA 17. Factor de conversión de Excavadora.**

CONDICIÓN DE EXCAVACIÓN	CONDICIÓN DE LA OBRA			
	Fácil	Normal	Moderada	Difícil
HASTA 40%	0.7	0.9	1.1	1.4
40% a 75%	0.8	1.0	1.3	1.6
Más de 75%	0.9	1.1	1.5	1.8

Fuente: Solanilla. (2003).

**TABLA 18. FACTOR DE EFICIENCIA.**

CONDICIONES DE OPERACIÓN	EFICIENCIA DEL TRABAJO
BUENAS	0.83
PROMEDIO	0.75
MODERADA	0.67
DEFICIENTE	0.58

Fuente: Solanilla. (2003).

**TABLA 19. ESPECIFICACIONES DE EXCAVADOR TOMADO COMO REFERENCIA PARA LOS CÁLCULOS DE PRODUCCIÓN, SACADO DE CATÁLOGO DE FABRICANTE.**

modelo	ancho (m)	longitud (m)	altura (m)	profundidad de excavación (m)	max. alcance lateral(m)	peso (kg)	capacidad (m3)
CAT 336F	3,19	11,18	3,59	8,21	11,76	36.800	2,28

Fuente: Propia

- Q: Producción por hora (m<sup>3</sup>/h) o (ton/h)
- q: 205,2 m<sup>3</sup>
- N: 1,63
- E: Factor de Eficiencia (Tabla 18)
- E=0,75

$$q = 2,28 \times 90\%.$$

- ql= Capacidad Colmada del Cucharón, según especificaciones del fabricante. (Tabla 19).

- K= Factor de llenado del cucharon (%) (Tabla 15).

$$N= 60/39,6 (1/hr)$$

- **Tc= tiempo estándar del ciclo x factor de conversión**
- **Factor de conversión** (Tabla 17)

$$Tc= 24,6 \text{ seg} \times 1,5$$

$$Tc= 36,9 \text{ min.}$$

$$Q= 250,86 \text{ m}^3/hr$$

- **Cargadores Frontales o Palas cargadoras**

**TABLA 20. FACTOR DE LLENADO PARA ALGUNOS MATERIALES.**

MATERIAL	FACTOR DE LLENADO (% de la capacidad colmada)
Suelo natural arcilloso, arcilla arenosa, tierra suave	100 – 110
Tierra seca, tierra arenosa	95 – 105
Suelo natural arenoso con grava, arcilla dura y compacta	85 – 100
Roca bien fragmentada por voladura	95 – 105
Roca mal fragmentada por voladura	85 – 95

Fuente: Solanilla. (2003).

**TABLA 21. FACTOR DE CONVERSIÓN.**

**FACTOR DEL CUCHARÓN**

CONDICIÓN DE CARGA	LLANTAS O CAUCHOS	ORUGAS
Fácil	1.0 – 1.1	1.0 – 1.1
Promedio	0.85 – 0.95	0.95 – 1.00
Moderado	0.80 – 0.85	0.90 – 0.95
Difícil	0.75 – 0.80	0.85 – 0.90

Fuente: Solanilla. (2003).

**TABLA 22. TIEMPO ESTÁNDAR DE CICLO DE CARGADOR FRONTAL Y TRACTOR DE ORUGA.**

PESO DE LA MÁQUINA TON.	CAPACIDAD DEL CUCHARÓN m <sup>3</sup>	SEGUNDOS
40 a 43	Hasta 2.6	16 a 20
65 a 70	Hasta 4.5	18 a 22
95 a 105	Hasta 8.5	20 a 24
160	Hasta 13.0	27 a 31

Fuente: Solanilla. (2003).

**TABLA 23. FACTOR DE EFICIENCIA.**

**FACTOR DE EFICIENCIA**

CONDICIONES DE OPERACIÓN	EFICIENCIA DE TRABAJO
BUENAS	0.83
PROMEDIO	0.75
MODERADA	0.67
DEFICIENTE	0.58

Fuente: Solanilla. (2003).

**TABLA 24. ESPECIFICACIONES DE CARGADOR FRONTAL TOMADO COMO REFERENCIA PARA LOS CÁLCULOS DE PRODUCCIÓN SACADO DE CATÁLOGO DEL FABRICANTE.**

MODELO	ANCHO (m)	LONGITUD (m)	ALTURA (m)	Radio de Giro Interno (m)	Radio de Giro Externo(m)	PESO (kg)	CAPACIDAD (m3)
CAT 950M	2,814	6,906	2,697	3,219	5,985	19,213	2,5

Fuente: Propia

- Q: Producción por hora (m<sup>3</sup>/h) o (ton/h).
- q: 212,5 m<sup>3</sup>.
- N: 3,21.
- E: Factor de Eficiencia (Tabla 23).
- E=0,75.

$$q = 2,5 \times 85\%$$

- $q_l$  = Capacidad Colmada del Cucharón, según especificaciones del fabricante. (Tabla 24).
- $K$  = Factor de llenado del cucharón (%) (tabla 20).

$$N = 60/18,7 \text{ (1/hr)}$$

- **$T_c$  = tiempo estándar del ciclo x factor de conversión.**
- **tiempo estándar del ciclo** (Tabla 22).
- **Factor de conversión** (Tabla 21).

$$T_c = 22 \text{ seg} \times 0,85$$

$$T_c = 18,7 \text{ min.}$$

$$Q = 511,59 \text{ m}^3/\text{hr}$$

### **Tractor de orugas**

Para ellos se proponen evaluar un Caterpillar D6, D7 o D8 que poseen una hoja semiuniversal (SU) de capacidad operativa de  $5,7\text{m}^3$ ,  $7\text{m}^3$  y  $9,3\text{m}^3$ , respectivamente, similar a esta maquinaria se encuentra el modelo D155AX marca Komatsu con Capacidad operativa de  $9,4\text{m}^3$ .

**TABLA 25. FACTOR DE CORRECCIÓN DE LOS MATERIALES.**

TIPO DE MATERIAL	Estado Inicial	ESTADO DEL MATERIAL A TRABAJAR		
		EN BANCO	SUELTO	COMPACTADO
ARENA	B	1.00	1.11	0.95
	S	0.90	1.00	0.86
	C	1.05	1.17	1.00
ARCILLA ARENOSA	B	1.00	1.25	0.90
	S	0.80	1.00	0.72
	C	1.11	1.39	1.00
OARCILLA	B	1.00	1.43	0.90
	S	0.70	1.00	0.63
	C	1.11	1.59	1.00
CASCAJO	B	1.00	1.18	1.08
	S	0.85	1.00	0.91
	C	0.93	1.09	1.00
GRAVA	B	1.00	1.13	1.03
	S	0.88	1.00	0.91
	C	0.97	1.10	1.00
GRAVA SOLIDA O RESISTENTE	B	1.00	1.42	1.29
	S	0.70	1.00	0.91
	C	0.77	1.10	1.00

**Fuente: Solanilla. (2003).**

Donde:

- B: Banco.
- S: Suelto.
- C: Compactado.

**TABLA 26. FACTOR DE LA HOJA.**

FACTOR DE LA HOJA (F)					
EMPUJE	MATERIAL	TIPO DE HOJA			
		"U"	SEMI "U"	RECTA	ANGULAR
Fácil	La cuchilla llena con material suelto, bajo contenido de humedad, materiales amontonados	1.25	1.05	1.00	0.95
Promedio	Imposible empujar con la cuchilla llena, suelos con arena, tierra suelta, arcilla suelta y grava.	0.90	0.75	0.70	0.65
Moderado	Material con alto contenido de agua, tierra dura, arcilla pegajosa ó seca y dura, roca suave.	0.80	0.65	0.60	0.50
Difícil	Roca ripiada , de voladura ó grandes rocas	0.65	0.55	0.50	0.45

Fuente: Solanilla. (2003).

**TABLA 27. FACTOR DE EFICIENCIA.**

FACTOR DE EFICIENCIA	
Condiciones de operación	E
Buena	<b>0.75</b>
Promedio	<b>0.58</b>
Moderada	<b>0.50</b>
Deficiente	<b>0.40</b>

Fuente: Solanilla. (2003).

**TABLA 28. FACTOR DE LA PENDIENTE.**



Fuente: Solanilla. (2003).

Donde: las filas representan las pendientes (%) y las columnas el factor de la pendiente.

**TABLA 29. CAMBIOS QUE SE USAN EN CADA OPERACIÓN CON SUS RESPECTIVAS VELOCIDADES MEDIAS.**

Número de marchas y su velocidad Trabajo	Adelante 3, reversa 3 (F3/R3)	Adelante 4, reversa 4 (F4/R4)	Velocidades medias km/h (m/min)
Corte o arranque	En primera (F1)	F1	2 – 3 ( 33 – 50)
Empuje ó Acarreo	Segunda (F2)	F2, F3	3 – 5 (50 – 83)
Reversa ó Retorno	R2	R3	5 – 7 (83 – 116)

Fuente: Solanilla. (2003).

Para el cálculo de la producción de un tractor de oruga se usa la siguiente formula:

$$Q = q \times N \times E \times e$$

- Q: Producción por hora (m<sup>3</sup>/h) o (ton/h).
- q: Producción por ciclo (m<sup>3</sup>) o (ton).
- N: Numero de ciclos por hora.
- E: Factor de Eficiencia (Tabla 27).
- e: Factor de Pendiente (Tabla 28).
- ql: Capacidad de la hoja= 5,7 m<sup>3</sup>.
- F: Factor de la hoja (Tabla 26).

$$q = ql \times F$$

$$q = 5,7 * 0,65$$

$$q = 3,70 \text{ m}^3$$

$$N = 60/Tc.$$

**Tc**= Tiempo de Arranque o Excavación + Tiempo de Empuje + Tiempo de Reversa + Tiempo de Efectuar el cambio (tiempo fijo).

El tiempo fijo de cambio para maquinarias de transmisión generalmente es 0,05 min

En una distancia de empuje de 30 metros con velocidad de marcha hacia adelante de 2 km/h y velocidad de retorno o retroceso de 4 km/h:

$$Tc \text{ (min)} = 0,6 + 0,36 + 0,26 + 0,05$$

$T_c = 1,27 \text{ min.}$

$N = 60/1,27 = 47,24.$

$E = 0,58.$

$e = 1,00.$

$$Q = 101,37 \text{ m}^3/\text{h}$$

- **Camión Articulado.**

Para el cálculo de la producción de la tolva del camión, tenemos la siguiente expresión:

$$Q = Q_c \times N \times E_v.$$

Donde:

- $Q$ : Producción del tolva del Camión por hora ( $\text{m}^3$ ).
- $Q_c$ : Producción por ciclo ( $\text{m}^3$ ).
- $N$ : Numero de ciclos de la tolva del camión ( $1/\text{hr}$ ).
- $E_v$ : Eficiencia del trabajo del camión. (Tabla 30).

Por otra parte, la producción por ciclo se calcula de la siguiente manera:

$$Q_c = n \times q_l \times K.$$

Donde:

- $n$ : Numero de ciclos para que el cargador llene la volqueta.
- $q_l$ : Capacidad del cucharón del cargador ( $\text{m}^3$ ).
- $K$ : Factor del cucharón de la cargadora. (Tabla 21).

Los números de ciclos para que el cargador llene la volqueta se describe de la siguiente manera:

$$N = 60/T_{cv} \text{ (min)}$$

Donde:

- Tcv: tiempo de ciclo del camión, (tiempo de carga+ tiempo de acarreo + tiempo de descarga + tiempo de retorno+ tiempo de colocación y demora).
- Tiempo de colocación e inicio de carga (Tabla 31).

**TABLA 30. EFICIENCIA DE TRABAJO DE LAS VOLQUETAS.**

FACTOR DE EFICIENCIA	
Condiciones de operación	Eficiencia del trabajo
Buenas	0.83
Promedio	0.80
Moderadas	0.75
Difíciles	0.70

Fuente: Solanilla. (2003).

**TABLA 31. TIEMPOS DE COLOCACIÓN E INICIO DE CARGA DE LAS VOLQUETAS.**

TIEMPOS DE COLOCACION E INICIO DE CARGUE	
Condiciones del área de descarga	Tiempo (min) T2
Favorables	0.1 a 0.2
Promedio	0.25 a 0.35
Desfavorables	0.4 a 0.5

Fuente: Solanilla. (2003).

**TABLA 32. TIEMPO DE DESCARGA DE LAS VOLQUETAS.**

TIEMPOS DE DESCARGA	
Condiciones del área de descarga	Tiempo (min) T1
Favorables	0.5 a 0.7
Promedio	1.0 a 1.3
Desfavorables	1.5 a 2.0

Fuente: Solanilla. (2003).

En la Tabla 33, se aprecian las especificaciones de peso y capacidad del modelo del equipo de acarreo seleccionado para el diseño minero.

**TABLA 33. ESPECIFICACIONES DE CAMIÓN ARTICULADO TOMADO COMO REFERENCIA PARA LOS CÁLCULOS DE PRODUCCIÓN SACADO DE CATÁLOGO DEL FABRICANTE.**

MODELO	PESO (kg)	CAPACIDAD (m3)
CAT 730	22.500	13,3

Fuente: propia.

Datos:

- $Q_c$ : 12,31.
- $N$ : 2,33.
- $E_v$ : 0,80.
- $T_{cv}$ : 25,75.
- $n$ : 6 (13,30 / 2.28).
- $q_l$  (m3): 2,28.
- $K$ : 0,90.

Lo que nos da como resultado del cálculo de la producción de la tolva del camión.

$$Q = 22,95 \text{ m}^3/\text{hr.}$$

#### 5.5.5. Número de equipos necesarios para la producción requerida:

El número de equipos requerido se calculó con la siguiente expresión:

$$N_{vp} = Ph_r / Ph.$$

Donde:

- $N_{vp}$ : números de equipos para la producción requerida.
- $Ph_r$ : producción horaria requerida.
- $Ph$ : producción horaria.

A continuación, se aplica el cálculo en los equipos necesarios:

- **Camiones.**

$N_{vp} = 53,26 \text{ m}^3 / 22,95 \text{ m}^3 = 2,32 = 3 \text{ Camiones.}$

- **Excavador.**

$N_{vp} = 53,26 \text{ m}^3 / 250,86 \text{ m}^3 = 0,22 = 1 \text{ Excavador.}$

- **Cargador Frontal.**

$N_{vp} = 53,26 \text{ m}^3 / 511,59 \text{ m}^3 = 0,10 = 1 \text{ Cargador Frontal.}$

Para la selección de los equipos y maquinarias se compararon varias marcas y modelos, considerando sus capacidades, dimensiones y servicios. Como se muestra en las Tablas 34, 35 y 36.

Entre las marcas destacadas por sus capacidades, dimensiones, servicios y similitudes entre cada una de ellas están Caterpillar, John Deere, Volvo, Komatsu, Terex, entre otros.

A continuación, se presentaran varias marcas y modelos de maquinarias similares en dimensiones, operatividad y producción que pueden ser evaluados según preferencia, como se puede apreciar en las Figuras 67, 68 y 69.

- **Camiones articulados**



**Figura 67. Camiones articulados marca John Deere y Caterpillar. Fuente Google imagines.**

**TABLA 34. EJEMPLOS DE CAMIONES ARTICULADOS MEDIANOS CON ESPECIFICACIONES SIMILARES A LOS EVALUADOS PARA EL CÁLCULO DE LAS PRODUCCIONES.**

Marca	Modelo	Dimensiones del Equipo			Dimensiones de Operación		Pesos Operativos		Mantenimiento				
		Ancho (m)	Longitud (m)	Altura (m)	Radio de Giro Interno (m)	Radio de Giro Externo(m)	Peso (kg)	Capacidad (m3)	Aceite de Motor (Lt)	Aceite Hidráulico (Lt)	Refrigerante (Lt)	Fluido de Transmisión(Lt)	Combustible (Lt)
Caterpillar	730	3,065	9,73	3,755	3,879	8,075	22500	13,3	38	110	83	47	412
	730EJ	3,065	9,73	3,755	3,849	8,075	26210	13,5	38	110	83	47	412
	735	3,083	10,445	3,488	3,793	8,075	24880	15,5	38	110	83	56	412
	740EJ/740GC	3,801	11,764	3,962	4,413	9,045	35243	18	52	140	90	75	550
Komatsu	HM300	2,9	10,44	3,52	4,01	7,96	24040	12,9	37	120	77	77,5	384
	HM400	3,45	11,105	3,735	4,17	8,8	34045	18,2	50	167	125	125	518
TEREX	TIER 2 TA250	2,895	9,93	3,376	4,2	8,95	23259	12,5	45	256	48,8	49	370
John Deere	310-P-TIER	3,49	10,16	3,66	4,27	8,02	22847	13,7	34	113,5	52	60	496
	260-P-TIER	3,49	9,74	3,66	4,27	8,02	22494	11,7	34	113,5	52	60	496
	410-P-TIER	3,85	10,64	3,85	4,63	8,9	31400	17,1	43	176	90	60	609
Volvo	A25G	2,915	10,218	3,265	4,092	8,109	22700	12,4	35	137	48	41	380
	A30G	2,954	10,296	3,325	4,048	8,109	23600	14,2	35	137	48	41	380
	A45G	3,403	11,263	3,546	4,327	8,957	31100	19,7	55	174	49	43	480

Fuente: Propia.

- **Excavadora.**



Figura 68. Excavador marca Komatsu. Fuente Google imagines.

**TABLA 35. EJEMPLOS DE EXCAVADORAS MEDIANOS CON ESPECIFICACIONES SIMILARES A LA EVALUADA PARA EL CÁLCULO DE LAS PRODUCCIONES.**

Marca	Modelo	Dimensiones			Dimensiones de Operación		Pesos Operativos		Mantenimiento			
		Ancho (m)	Longitud (m)	Altura (m)	Profundidad de Excavación (m)	Max Alcance lateral(m)	Peso (kg)	Capacidad (m3)	Aceite de Motor (Lt)	Sistema Hidráulico (Lt)	Refrigerante (Lt)	Combustible (Lt)
Caterpillar	349F	3,34	11,92	3,71	7,66	11,73	48600	3,21	40	550	52	715
	336F	3,19	11,18	3,59	8,21	11,76	36800	2,28	32	373	40	600
	340	3,19	11,18	3,65	8,21	11,76	37700	2,36	32	373	40	600
	320C	2,98	9,42	3,01	6,1	9,24	20800	1,2	30	200	30	400
Volvo	EC480	3,4	11,6	3,7	9,1	13,2	53100	3,8	42	520	60	685
	EC530	2,99	11,77	3,415	6,45	10,97	54140	2,84	55	590	66	680
	EC550	2,99	11,77	3,87	6,45	10,97	54820	2,8	55	590	66	680
John Deere	470G LC	3,34	12,1	3,6	6,21	10,75	47355	2,5	55	510	61	705
	670G LC	3,73	13,4	4,46	8,53	13,25	69900	3,09	57	750	76	900
	870G LC	4,12	14,8	4,77	8,87	14,1	85600	3,49	57	1042	124	1110

Fuente: Propia.

- **Cargador Frontal.**



**Figura 69. Cargador Frontal marca Caterpillar. Fuente Google imagines.**

**TABLA 36. EJEMPLOS DE CARGADORES FRONTALES MEDIANOS CON ESPECIFICACIONES SIMILARES A LA EVALUADA PARA EL CÁLCULO DE LAS PRODUCCIONES.**

MARCA	MODELO	Dimensiones			Dimensiones de Operación		Pesos Operativos		Mantenimiento				
		Ancho (m)	Longitud (m)	Altura (m)	Radio de Giro Interno (m)	Radio de Giro Externo (m)	Peso (kg)	Capacidad (m <sup>3</sup> )	Aceite de Motor (lt)	Aceite Hidráulico (lt)	Refrigerante (lt)	Fluido de Transmisión (lt)	Combustible (Lt)
Caterpillar	962M	2,822	6,906	2,697	3,78	6,62	20226	2,5	22	125	59	43	275
	966M	2,991	7,289	2,818	3,853	6,761	23220	3,2	24,5	125	71,6	58,5	302
	950M	2,814	6,906	2,697	3,219	5,985	19213	2,5	22	125	59	43	275
Volvo	L220H	3,15	7,48	3,73	3,96	7,1	32810	4,5	50	226	55	48	366
	L110F	2,67	6,47	3,36	3,06	5,73	20000	2,7	21	133	70	38	269
	L120F	2,67	6,58	3,37	3,06	5,73	21000	2,6	21	133	70	38	269
	L150H	2,96	7,07	3,58	3,82	6,79	25660	4	50	156	55	48	366
	L180H	2,96	7,19	3,58	3,82	6,79	28470	4,6	50	156	55	48	366

**FUENTE: PROPIA.**

## 5.6. INSTALACIONES E INFRAESTRUCTURA.

Dentro de las etapas de un plan de minas, es importante considerar las instalaciones de almacenamiento de insumos, talleres de reparación y mantenimiento, áreas de llenado de combustible, almacenamiento del o los materiales extraídos, planta de procesamiento, de aplicarse, oficinas, entre otros. Esto como parte importante y complementario a las actividades de extractivas.

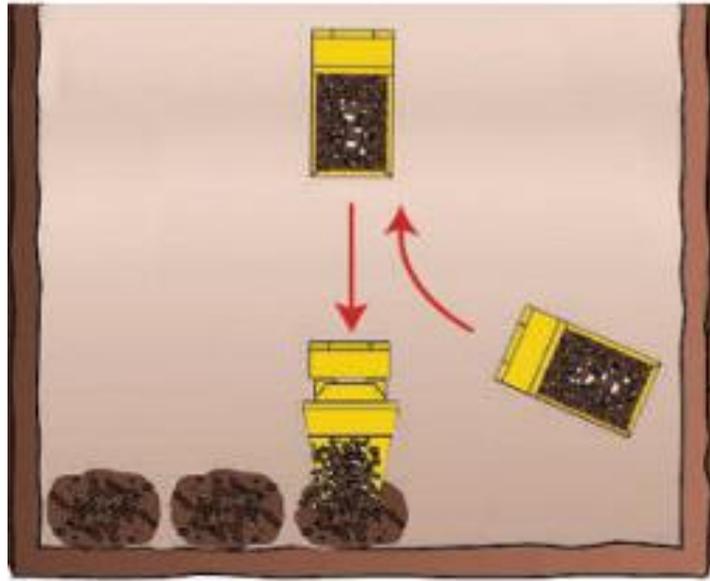
Los mantenimientos e insumos, oficina, almacén de insumos, taller de reparación, instalación de tanque de combustible y galpón de almacenamiento del material extraído, serán parte de la infraestructura que complementara el Diseño de Minas que se propone.

A continuación se especificaran algunas de las características de las instalaciones que se pretenden llevar a cabo.

### 5.6.1. Galpón de Almacenamiento.

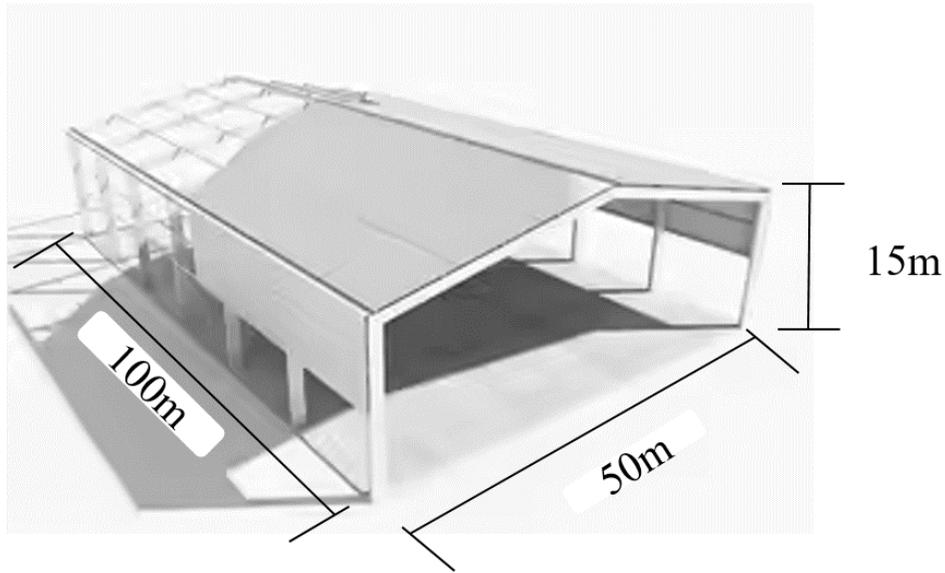
Una vez extraído el material arcilloso, este será transportado a 2,5 kilómetros, para su posterior almacenamiento, antes de ser despachados a las partes interesadas fuera de las instalaciones propiamente de la cantera.

Con una meta programada de 15.000 toneladas al mes, se visualiza apilar el material, en producción diaria. Además del almacenamiento es importante considerar la maniobra de las maquinarias y equipos dentro del área de almacenamiento. (Figura 70).



**Figura 70. Descarga del material acarreado en el galpón de almacenamiento. . Tomado de Manual de Maquinarias pesadas Caterpillar.**

Por ello, las dimensiones para el galpón (Figura 71), serán de 100 m de largo, 50m de ancho y 15m de altura, para un almacenamiento aproximado de 30.000 m<sup>3</sup>.



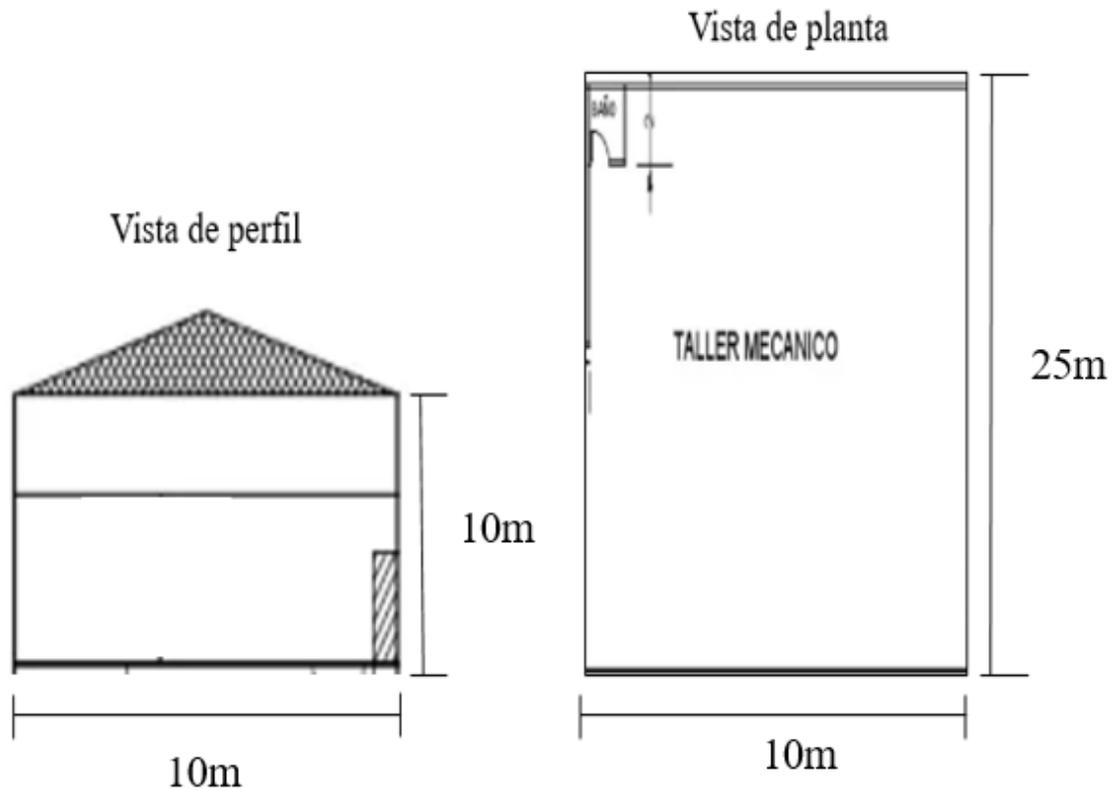
**Figura 71. Galpón de Almacenamiento de material de arcilla. Fuente propia.**

### **5.6.2. Taller.**

En actividades de extracción, movimiento y carga de materiales, donde se involucran maquinarias y equipos, hay que tener en cuenta que estas podrían presentar imprevistos, que representan actividades que aunque no son programadas son esperadas, como lo son las averías, adicionalmente, a los mantenimientos preventivos y/o correctivos que son planificados previamente.

Por tal motivo, es imprescindible contar con un área destinada para realizar las acciones pertinentes a lo antes mencionado. Esta área es el taller de reparaciones y mantenimientos.

Para la instalación del taller se proponen las siguientes dimensiones, tomando en cuenta los equipos con el que se contara en la cantera. Estas dimensiones serian 25m de largo, 10m ancho y 10m altura. Como se muestra en la Figura 72.



**Figura 72. Ejemplo de Diseño para taller mecánico con vista de perfil y de planta. Fuente propia.**

Dentro de la infraestructura e instalaciones de una actividad minera, está la planificación de los mantenimientos y despacho de combustible.

A continuación, se expresa el consumo de combustible y capacidad de llenado de las maquinarias, que deben ser tomadas en cuenta a la hora de la planificación de compra de fluidos lubricantes y combustible.

### **5.6.3. Mantenimientos:**

Para realizar los mantenimientos preventivos (Tabla 37), es necesario contar con un mínimo de fluidos para el llenado de los equipos y maquinarias (tabla 38), por lo que la programación anticipada de dichos mantenimientos permitirá la adecuada y oportuna realización de las actividades que permitirán el correcto funcionamiento de los equipos y así evitar interrupciones en las actividades extractivas.

**TABLA 37. FRECUENCIA DE MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DE LAS MAQUINARIAS Y EQUIPOS.**

Maquinarias/Equipos	Horas/Kilometraje de Mantenimiento	Mantenimiento Programado (Días)
Excavadora /Pala Hidráulica	250	32
Cargador de Ruedas	250	32
Tractor de Orugas	250	32
Camiones	7.000	175

FUENTE: PROPIA.

**TABLA 38. LLENADO DE FLUIDOS DE LOS EQUIPOS Y MAQUINARIAS.**

Maquinarias/Equipos	Aceite de Motor (Ltrs)	Aceite Hidráulico (Ltrs)	Aceite de Transmisión (Ltrs)	Refrigerante (Ltrs)
Excavadora /Pala Hidráulica	64	746	0	80
Cargador Frontal	44	250	86	118
Tractor de Orugas	38	155	0	62
Camiones	114	330	141	249
Total	260	1.481	227	509

FUENTE: PROPIA.

Adicionalmente, es importante tomar en cuenta que el ambiente en el que se está trabajando, los materiales son fino, áridos, y abrasivos hay que contar con un engrasado de las maquinarias para evitar el desgastes de las piezas hidráulicas y soplado de los filtros de aire a fin de evitar que los ductos se tapen de polvo. Para ello, se necesitara grasa de alta temperatura y compresor para el sople de los filtros.

### 5.6.3.1. Combustible

En la Tabla 39, podemos observar la relación de máquinas y equipos con respecto a la frecuencia de llevado de combustible por días.

**TABLA 39. FRECUENCIA EN DÍAS DEL LLENADO DE COMBUSTIBLE DE LOS EQUIPOS Y MAQUINARIAS.**

Maquinarias/Equipos	Frecuencia de llenado de Combustible (días)
Excavadora/ Pala Hidráulica	2,26
Cargador Frontal	1,38
Tractor de Orugas	4,00
Camiones	2,75

**FUENTE: PROPIA.**

En la Tabla 40, podemos observar la relación de máquinas y equipos a respecto a la cantidad de combustible por unidad de equipo.

**TABLA 40. CAPACIDAD DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE DE LAS MAQUINARIAS Y EQUIPOS.**

Maquinarias/Equipos	Cantidad de equipo	Combustible p/Unidad (Ltrs)
Excavadora/ Pala Hidráulica	1	600
Cargador Frontal	1	275
Tractor de Orugas	1	600
Camiones	3	412

**FUENTE: PROPIA.**

Al planificar el servicio de despacho de combustible es importante conocer el consumo de las maquinarias y equipos:

La Tabla 41, muestra el consumo de combustible diario de cada equipo de las etapas mineras.

**TABLA 41. CONSUMO DIARIO DE COMBUSTIBLE DE LAS MAQUINARIAS Y EQUIPOS.**

Maquinarias/Equipos	Consumo Ltrs/día
Excavadora/ Pala Hidráulica	266
Cargador Frontal	200
Tractor de Orugas	150
Camiones	150

**FUENTE: PROPIA.**

Total 766 litros de combustible (diésel) diarios en operaciones, por lo que se necesitara la instalación de un tanque de aproximadamente 25 mil a 30 mil litros, para que el despacho del combustible sea mensual, en la figura 73, se muestra un tipo de tanque fijo contenedor de combustible.



**Figura 73. Tanque de Combustible fijo. Fuente Google Imágenes.**

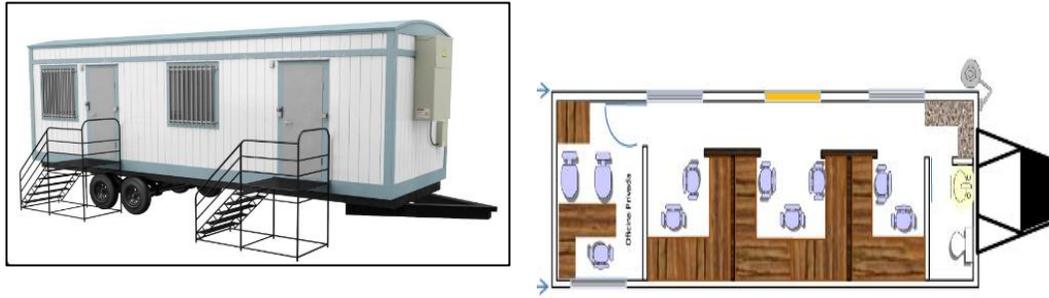
#### **5.6.4. Oficina y Almacén de Insumos.**

Con el fin de todas las gestiones y atenciones administrativas, hay que contar con un área donde laborara el personal encargado de dichas actividades. (Véase en la Figura 74)

Igualmente, es importante contar con un espacio donde se almacenen los diferentes materiales que serán usados para todas las actividades relacionadas con la cantera (administrativas y operativas), tales como, repuestos (filtros aire, filtros de combustible,

filtros de aceite, mangueras, piezas mecánicas, etc.), insumos (aceite, grasas, etc.), dotaciones (oficina, personal), entre otros.

Las dimensiones para las oficinas y almacén se proponen en 12 m de largo y 3,40 m de ancho.



**Figura 74. Tráiler para Oficinas y Almacén de Insumos. Fuente Google imágenes**

Por otra parte, una vez definidos los espacios físicos, se debe fijar:

- Personal que laborara en todas las áreas pertenecientes y relacionadas con la actividad extractiva.
- Logística: Agua potable para consumo y uso personal.
- Transporte para el traslado del personal.
- Instalaciones y extensiones eléctricas.
- Costos de adquisición de materiales, insumos y servicios, Costos de extracción, costos administrativos.
- Entre otros.

Formando lo anterior, parte de la infraestructura a considerar en un diseño de minas.

### **5.7. Controles de Operaciones y áreas.**

Para llevar un control exhaustivo de todas las operaciones en una cantera, generalmente se utilizan varios formatos que deben adaptarse a las necesidades específicas de los procesos y requisitos de las operaciones para garantizar un control efectivo de todas las actividades. (Tablas de la 42 al 45).

Registro de Volumen (m3) extraído diariamente		Inventario de Materia Prima:	
Fecha:	/ /	Fecha:	
Hora de Inicio:		Materia:	
Hora de Finalización:		Unidad de Medida:	
Supervisor de turno:		Inventario Inicial:	
Tipo de Material Extraído:		Ingreso de Material:	
		Fecha:	
		Cantidad:	
Equipo utilizado en turno:			
Viajes realizados:		Volumen extraído (m3):	
Observacion:			
		Observaciones:	
		Firma del Responsable:	
Firma de Supervisor:			

**TABLA 42. CONTROL DIARIO DE VOLUMEN E INVENTARIO DE MATERIAL EXTRAÍDO.**

REPORTE DIARIO DE OPERACIONES		Mantenimiento de Maquinarias y Equipos	
Fecha:	/ /	Nombre del equipo:	
Operaciones Realizadas:		Fecha del mantenimiento:	/ /
Extracción de Material	M3	Hora de Inicio:	Hora de Finalización:
Carga y Transporte de Material	M3	Tipo de Mantenimiento (Preventivo/Correctivo):	
Mantenimiento de Maquinaria	horas	Descripción del trabajo realizado:  Reemplazo o Reparaciones realizadas:  Observacion:  Observaciones	
Incidencias o Problemas presentados:			
Avería de Maquinaria	Descripción:		
Retrasos en las operaciones			
Otras incidencias		Proxima Fecha de Mantenimiento:	
Personal de Turno:		Observacion:  Observaciones	
Operadores de maquinarias			
Ingenieros o Supervisores			
Personal de Taller			
Personal de Otras areas		Firma del Técnico responsable:	
Observaciones			
Firma del Responsable:			

Fuente: propia.

**TABLA 43. REPORTE DIARIO DE OPERACIONES Y CONTROL DE MANTENIMIENTO DE MAQUINARIAS Y EQUIPOS.**

REPORTE DIARIO DE OPERACIONES		Mantenimiento de Maquinarias y Equipos	
Fecha:	<input type="text" value=" / /"/>	Nombre del equipo:	<input type="text"/>
<b>Operaciones Realizadas:</b>		Fecha del mantenimiento:	<input type="text" value=" /"/>
Extraccion de Material	<input type="text"/> M3	Hora de Inicio:	<input type="text"/>
Carga y Transporte de Material	<input type="text"/> M3	Hora de Finalizacion:	<input type="text"/>
Mantenimiento de Maquinaria	<input type="text"/> horas	Tipo de Mantenimiento (Preventivo/Correctivo):	<input type="text"/>
<b>Incidencias o Problemas presentados</b>		Descripcion del trabajo realizado:	
Averia de Maquinaria	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Retrasos en las operaciones	<input type="text"/>		
Otras incidencias	<input type="text"/>		
<b>Personal de Turno:</b>		Reemplazo o Reparaciones realizadas:	
Operadores de maquinarias	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Ingenieros o Supervisores	<input type="text"/>		
Personal de Taller	<input type="text"/>		
Personal de Otras areas	<input type="text"/>		
Observaciones	<input type="text"/>	Observacion:	
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	<input type="text"/>		
	<input type="text"/>	Firma del Tecnico responsable:	<input type="text"/>

Firma del Responsable

**Fuente: propia.**

**TABLA 44. CONTROL HORAS DE TRABAJO DEL PERSONAL Y CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES EXTRAÍDO.**

Horas de Trabajo del Personal	Control de Calidad de Materiales extraídos															
<p>Fecha: <input type="text"/></p> <p>Nombre del Trabajador: <input type="text"/></p> <p>Area de Trabajo: <input type="text"/></p> <p>Turno: <input type="text"/></p> <p>Día y Hora de Entrada: <input type="text"/></p> <p>Día y Hora de Salida: <input type="text"/></p> <p>Horas Trabajadas: <input type="text"/></p> <p>Actividades realizadas Durante el Turno: <input style="width: 100%; height: 100px;" type="text"/></p> <p>Observaciones: <input style="width: 100%; height: 80px;" type="text"/></p> <p>Firma del Trabajador: <input style="width: 100%;" type="text"/></p> <p>Supervisor/Encargado: <input style="width: 100%;" type="text"/></p>	<p>Fecha de extracción del material: <input type="text"/></p> <p>Tipo de Material extraído: <input type="text"/></p> <p>Ubicación de la extracción: <input type="text"/></p> <p>Hora de extracción: <input type="text"/></p> <p>Volumen extraído(m3): <input type="text"/></p> <p>Aspecto a evaluar:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Granulometría</th> <th>Composición Química</th> <th>Absorción de Agua</th> <th>Resistencia a la Compresión</th> </tr> <tr> <th>Tamaño de</th> <th>Distribución de</th> <th>Análisis Componentes</th> <th>Porcentaje de absorción</th> <th>Resultados de Pruebas de</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 15%; height: 40px;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 30%;"></td> </tr> </tbody> </table> <p>Conclusiones del Control de Calidad: <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO</p> <p>Cumple los estandares de calidad: <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO</p> <p>Requiere acciones correctivas: <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO</p> <p>Observación: <input style="width: 100%; height: 50px;" type="text"/></p> <p>Firma de Inspector de Calidad <input style="width: 100%;" type="text"/></p>	Granulometría		Composición Química	Absorción de Agua	Resistencia a la Compresión	Tamaño de	Distribución de	Análisis Componentes	Porcentaje de absorción	Resultados de Pruebas de					
Granulometría		Composición Química	Absorción de Agua	Resistencia a la Compresión												
Tamaño de	Distribución de	Análisis Componentes	Porcentaje de absorción	Resultados de Pruebas de												

**Fuente: propia.**

**TABLA 45. CONTROL DE LAS NORMAS AMBIENTALES Y CONTROL DE INCIDENTES Y MEDIDAS CORRECTIVAS.**

Seguimiento de Cumplimiento de Normativas Ambientales										
Fecha de Evaluación: <input type="text"/>										
Normativa Ambiental: <input style="width: 100%;" type="text"/>										
Gestión de Residuos	Emisiones	Fauna y Flora	Uso del Agua	Cumplimiento Legal						
recolección y disposición de residuos	Reciclaje y Reutilización Polvo y/o Gases	Mantenimientos de Equipos	Condición de Biodiversidad Local	preservar de especies y ecosistema	Gestión de agua utilizada en la operación	Contaminación de fuentes hídricas	Permisos y Autorizaciones Ambientales	Incidentes o incumplimientos		
Acciones Correctivas Necesarias:										
Areas que requieren mejoras	Plan de Accion	Responsable de la implementacion								
Firma de responsable del area ambiental										

Registro de Incidentes y Medidas Correctivas
Fecha del Incidente: <input type="text"/>
Descripción del Incidente: <input style="width: 100%; height: 60px;" type="text"/>
Acciones Correctivas Tomadas: <input style="width: 100%; height: 40px;" type="text"/>
Fecha de Implementación de las Medidas Correctivas: <input type="text"/>
Responsable de la Implementación: <input style="width: 100%;" type="text"/>
Evaluación de la Efectividad de las medidas correctivas:
1 <input type="checkbox"/>
2 <input type="checkbox"/>
3 <input type="checkbox"/>
Observaciones adicionales: <input style="width: 100%; height: 40px;" type="text"/>
Firma del Responsable de Seguridad y Salud Laboral: <input style="width: 100%;" type="text"/>
Firma del Supervisor de Turno: <input style="width: 100%;" type="text"/>

**Fuente: propia.**

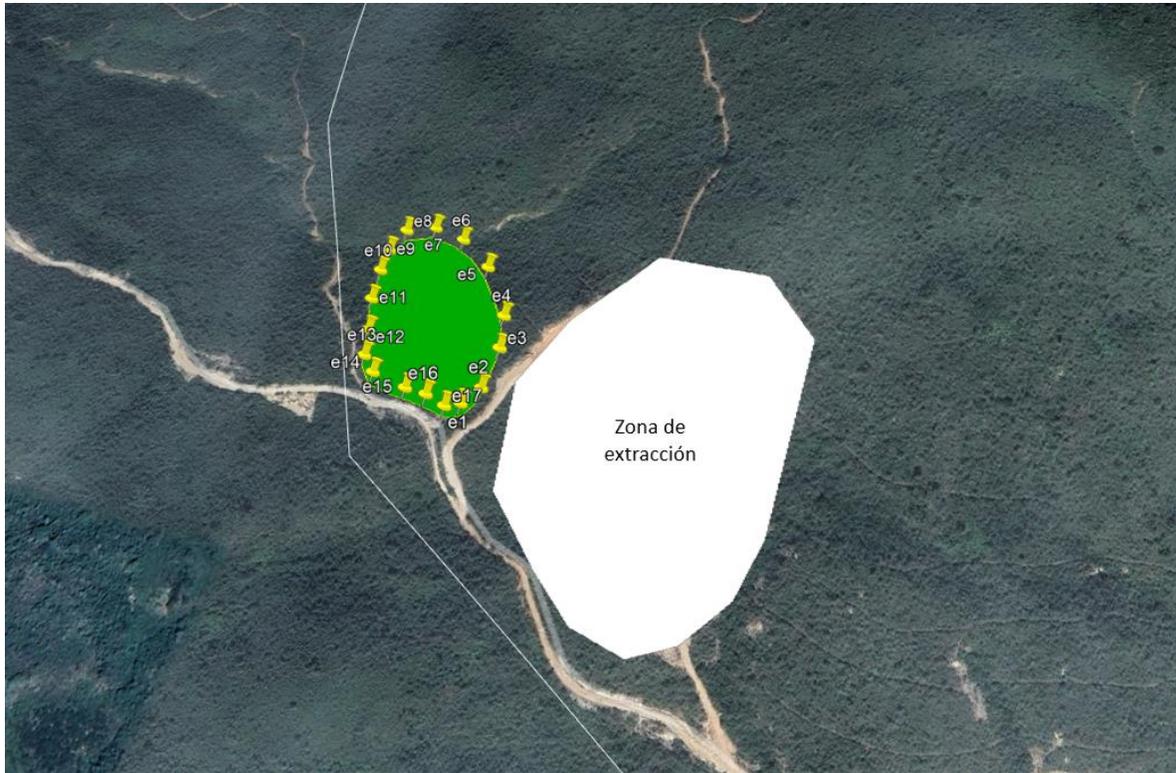
## 5.8. ESCOMBRERA.

Para la construcción de la escombrera, primero se realizó un recorrido de la zona, encontrando un área que presenta una topografía inclinada ideal para la descarga del tipo vertido libre, esta superficie se encuentra al sur oeste del frente de extracción (véase en la Figura 75 ). A continuación, se muestra las coordenadas de la escombrera. (Tabla 46)

**TABLA 46. COORDENADAS CARTOGRÁFICAS DE LA ESCOMBRERA.**

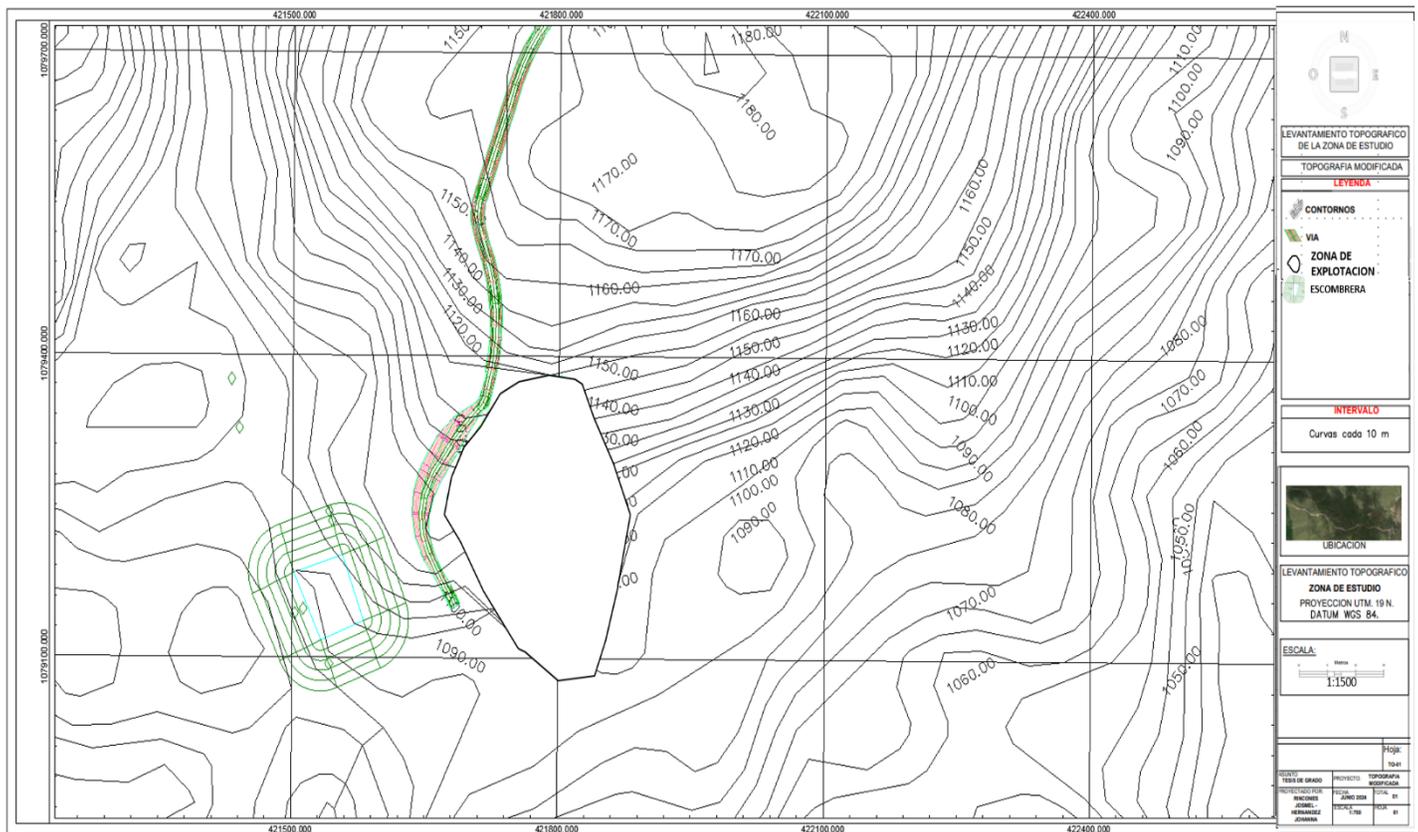
PUNTO	NORTE	ESTE
E1	1079176	421630
E2	1079205	421646
E3	1079286	421671
E4	1079325	421653
E5	1079360	421620
E6	421560	1079392
E7	1079397	421527
E8	1079383	421498
E9	1079349	421484
E10	1079297	421480
E11	1079266	421492
E12	1079240	421516
E13	1079216	421531
E14	1079202	421545
E15	1079194	421577
E16	1079192	421596
E17	1079185	421615

**Fuente: propia.**



**Figura 75.** Ubicación de escombrera en la zona de estudio de color verde, la zona de extracción está representada por la superficie de color blanca y el polígono blanco delimita la zona de estudio. Modificado de Google maps

En la Figura 76, se observa un mapa topográfico que sitúa el lugar de ubicación del diseño de la escombrera con poligonales de color verde, hacia el sur oeste con respecto a la zona de extracción delimitada por la superficie de color blanco.



**Figura 76. Mapa topográficos a escala 1:1.500 realizado en Autodesk civil 3D, donde se visualiza la superficie de la escombrera y la zona de explotación. Fuente propia.**

La escombrera presenta las siguientes capacidades, como se muestra en la Tabla 47

**TABLA 47. CAPACIDADES DE LA ESCOMBRERA.**

altura:	30m
área:	19.250 m <sup>2</sup>
volumen:	577.500 m <sup>3</sup>

**Fuente propia.**

La escombrera presenta un volumen de 577.500 m<sup>3</sup>, por su capacidad de almacenamiento, se puede decir que la misma es pequeña ya que tiene menos de 1 millón de m<sup>3</sup> según la tabla 5 del apartado del Marco Teórico. En ella se puede apilar todo el material que no es de interés, ya que el volumen de la extracción es de 510.529 m<sup>3</sup>, menos el volumen aproximado de arcilla (203.872,86 m<sup>3</sup>), más el volumen del material sobrante de la vía en corte y relleno es de 9.506 m<sup>3</sup>, para un total de 316,163 m<sup>3</sup> de estéril, por tal motivo, el

volumen de la escombrera es de 577.500m<sup>3</sup>, vale destacar que todavía queda espacio para una segunda fase de explotación.

Se considera que la inclinación del talud de la ladera donde se va a realizar el vertido libre tiene un aproximado entre 30 y 37° con respecto a la horizontal (Piña, 2021), ya que el material proveniente de la explotación y de la construcción de la vía poseen una cohesión 0 y un ángulo de reposo de 36° grados aproximados, esto es para el momento de hacer el vertido libre o el empuje para del saneamiento de la berma, el material pueda descender de forma continua con ayuda de la gravedad. El vertido libre se realizara con camiones articulados, por su parte, el empuje y saneamiento que rehabilitara la descarga será realizado con el tractor.

## **5.9. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.**

La evaluación del impacto ambiental durante los procesos de extracción en canteras de arcilla es una etapa crucial para garantizar un desarrollo sostenible de la actividad. Se debe analizar detalladamente cómo la actividad afecta al medio ambiente en general y se identifican los posibles riesgos e impactos negativos que esta genera en las comunidades aledañas. Esta evaluación incluye tomar medidas preventivas y de corrección para así asegurar una explotación con el menor impacto posible, tomando en cuenta que para lograrlo se deben reducir o alterar ciertas labores mineras que mitiguen, reparen y, cambien el impacto ambiental generado, asegurando así, el cumplimiento de las normativas ambientales.

Basados en las leyes, decretos y gacetas de la República Bolivariana de Venezuela, se toman las consideraciones que deben aplicarse para la corrección y disminución de los daños ocasionados en las operaciones mineras.

A continuación se identificaran algunos de los impactos más comunes presentados durante la actividad extractiva y se establecen las posibles medidas correctivas a ser aplicadas, junto con las leyes que le aplican. (Tabla 48)

**TABLA 48. APLICACIÓN DE LA LEY Y MEDIDAS CORRECTIVAS SEGÚN EL IMPACTO GENERADO POR LA EXPLOTACIÓN MINERA.**

<b>Gestión o Ambiente (Impacto Asociado)</b>	<b>Leyes aplicables</b>	<b>Medidas correctivas</b>
<b>Agua (Calidad-Cantidad)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ley de aguas (Asamblea Nacional, Gaceta Oficial n.º 38595 de fecha 02 de enero de 2007). Se establecen las disposiciones que rigen la conservación y gestión integral de las aguas, como elemento indispensable para el desarrollo sustentable del país.</li> <li>• Decreto 2.220, normas para regular las actividades capaces de provocar cambios de flujo, distribución de cauces y problemas de sedimentación (Presidencia de la República, 1992a)</li> <li>• Decreto 883, normas para la clasificación y el control de calidad de los cuerpos de agua y vertimientos o efluentes líquidos (Presidencia de la República, 1995a)</li> <li>• Decreto 2.226, normas ambientales para la apertura de picas y construcción de vías de acceso. 1992b)</li> </ul>	<p><b>Agua</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Construir un sistema de drenaje, para cada talud importante y las escombreras.</li> <li>• Mantenimiento de las zanjas de las vías.</li> <li>• Reducción de taludes de las escombreras para así reducir la fuerza erosiva del agua.</li> <li>• Minimizar el consumo de agua mediante la recirculación.</li> </ul> <p><b>Contaminación del agua por combustible</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoreo y Mantenimiento de la zona de carga de combustible de las maquinarias y equipos. Controlando a tiempo algún desperfecto o avería presentada.</li> <li>• Manejo correcto del combustible para evitar derrames.</li> </ul> <p><b>Sedimentación</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implantar barreras vegetales como control de erosión para prevenir la sedimentación de los suelos y acumulaciones de aguas durante las operaciones.</li> </ul>

<p><b>Aire</b> (Calidad del aire)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ley de gestión integral de riesgos siconaturales y tecnológicos (Asamblea Nacional, 2009a)</li> <li>• Ley de gestión integral de la basura (Asamblea Nacional, 2010).</li> <li>• Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos (Asamblea Nacional, 2001)</li> <li>• Decreto 2.217, normas sobre el control de la contaminación generada por ruido (Presidencia de la República, 1992c)</li> <li>• Decreto 638, normas sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosférica (Presidencia de la República, 1995b)</li> <li>• Decreto 2.210, normas técnicas y procedimientos para el manejo de material radioactivo (Presidencia de la República, 1992d)</li> <li>• Decreto 2.673, normas sobre emisiones de efluentes móviles (Presidencia de la República, 1998).</li> <li>• Decreto 4.335, normas para regular y controlar el consumo, la producción, importación y exportación y el uso de sustancias agotadoras de la capa de ozono (Presidencia de la República, 2006)</li> <li>• Decreto 2.226, normas ambientales para la apertura de picas y</li> </ul>	<p><b>Emisión de polvo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Riego periódico de vías, frente de extracción, zona de almacenamiento del material y escombrera.</li> <li>• Monitoreo continuo de los residuos generados durante las operaciones de extracción, incluyendo su adecuada disposición y posible reutilización.</li> <li>• Cubrir la carga de los volteos con lona a la hora de ser trasladados del área de almacenamiento a la zona inicial de exportación.</li> <li>• Retirar material acumulado de las vías de la cantera durante el acarreo y realizar mantenimiento de las minas.</li> </ul> <p><b>Emisión de gases</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar Mantenimiento preventivos y correctivos de la maquinaria y equipos, haciendo los cambios respectivos de fluidos, limpiezas de filtros, entre otras, poniendo a punto el sistema de carburación.</li> </ul> <p><b>Emisión de ruido</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantener en buenas condiciones los silenciadores.</li> <li>• Definir una adecuada la velocidad de</li> </ul>
---	--	---

	<p>construcción de vías de acceso (Presidencia de la República, 1992b)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Decreto 2.226, normas ambientales para la apertura de picas y Construcción de vías de acceso (Presidencia de la República, 1992b).</li> </ul>	<p>circulación dentro de todas las áreas relacionadas con la cantera.</p>
<b>Vegetación, Fauna, Paisaje</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ley de bosques (Asamblea Nacional, 2013)</li> <li>• Ley de gestión de la diversidad biológica (Asamblea Nacional, 2008).</li> <li>• Ley de protección a la fauna silvestre (Congreso de la República, 1970)</li> <li>• Decreto 1.486, especies en peligro de extinción (Presidencia de la República, 1996a)</li> <li>• Decreto 1.468 con fuerza de ley de zonas costeras (Presidencia de la República, 2001)</li> <li>• Decreto 2.226, normas ambientales para la apertura de picas y construcción de vías de acceso (Presidencia de la República, 1992b)</li> <li>• Resolución 217 especies en veda (MARN, 2006)</li> <li>• Decreto 1.257, normas sobre la evaluación ambiental de actividades susceptibles De degradar el ambiente (Presidencia de la República, 1996b).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer un plan de restauración efectivo para devolver el área de la cantera a su estado original o a uno similar una vez finalizada la extracción de la arcilla</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ley orgánica de educación (Asamblea Nacional, 2009a)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoreo regular de la calidad del agua, suelo y aire en las cercanías de la cantera para identificar y abordar posibles</li> </ul>

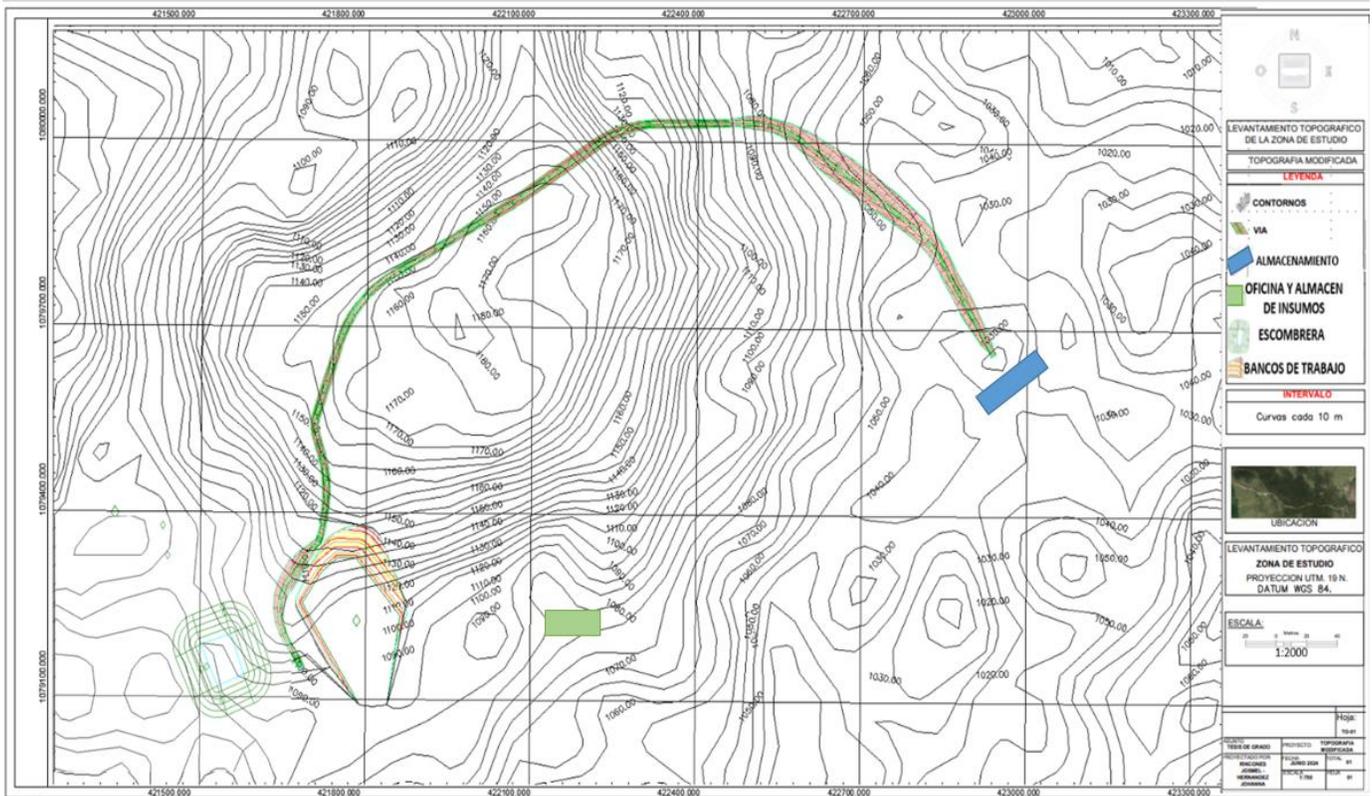
<p><b>Social, cultural y económico</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ley orgánica de salud (Congreso de la República, 1998)</li> <li>• Ley de gestión integral de riesgos siconaturales y tecnológicos (Asamblea Nacional, 2009a)</li> <li>• Ley orgánica del trabajo, los trabajadores y trabajadoras (Presidencia de la República, 2012. Decreto 8.938)</li> <li>• Ley orgánica de prevención, condiciones y medio ambiente de trabajo (Asamblea Nacional, 2005a).</li> </ul>	<p>contaminaciones. Adicionalmente esto permitirá evaluar la eficacia de las medidas de mitigación y control ambiental implementadas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacitar al personal de la cantera en materia de gestión ambiental y buenas prácticas mineras.</li> <li>• Implementar programas y proyectos de apoyo social y económico a las comunidades locales.</li> </ul>
--	---	---

Fuente: propia.

#### **5.10. PLAN DE EXTRACCIÓN DE 2 AÑOS POR EL REQUERIMIENTO DE 15.000 TON/MES.**

La propuesta de extracción del material arcilloso es de 2 años, para ello se requiere la elaboración de una secuencia de extracción mensual de 15.000 ton, estas secuencias efectuara por bloques para así llevar un control de la cantidad y calidad diario. La explotación del yacimiento de material arcilloso es de tipo descendente por cada nivel topográfico, empezando en la cota 1140 cota hasta la cota 1110, desde los niveles más altos hasta los más bajos. En la Figura 78, se puede observar un mapa topográfico modificado, que muestra la zona de extracción, vía de acarreo, escombrera, zona de almacenamiento, oficinas etc.

**Figura 77. Mapa topográfico modificado a escala 1:2000 realizado en Autodesk civil 3D, donde se representa las zonas de extracción, escombrera, vía de acarreo, almacenamiento, oficinas, almacén, insumo y taller.**



### 5.11. PERSONAL.

La nómina, operativa dedicada a las operaciones de la zona de estudio, estará conformada por TREINTA Y PERSONAS (32) personas directas, responsables de las operaciones de explotación, laboreo minero y administración, como se muestra en la Tabla 49.

**TABLA 49. NÓMINA DE PERSONAL CAPACITADO.**

CARGO	CANTIDAD
Gerente de operaciones	1
Gerente de planificación	1
Supervisor de operaciones	1
Supervisor de planificación	1
Choferes de camión	3
Chofer de cisterna	1
Operador de máquinas pesadas	3
Mecánicos	2
Ayudante de mecánica	3

Almacenista del galpón de arcilla	2
Almacenista de insumos	2
Administrativos	2
Electricista	1
Office Boy	1
Personal de seguridad	6
TOTAL	31

Este personal estará capacitado para cumplir con la exigencia de producción del material arcilloso para un turno de 8 horas diarias, 5 días a la semana, ya que cada labor que se desempeña dentro del plan será cumplido a cabalidad. Es importante mencionar que para cada labor se plantea un personal abarcando cada una de las actividades mineras dentro de la zona de estudio.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

En el trayecto de la elaboración de este trabajo de investigación, hemos podido evidenciar la importancia del diseño minero en el contexto de las canteras, no solo en términos de maximizar las producciones y eficiencia en las diferentes actividades

relacionadas con el entorno, sino también en cuanto a la reducción de los daños o impacto que se puedan ocasionar tanto en ambiente como en lo social.

A lo largo del tiempo, contar con un diseño de minas adecuado ha demostrado que optimiza los procesos de extracción y promueve una explotación de los recursos de una manera que respete el entorno y a las comunidades locales.

En este sentido, es fundamental que los profesionales continúen desarrollando este tipo de estudios que innoven un diseño minero, con el objetivo de garantizar una práctica minera responsable y seguro en un futuro inmediato.

A continuación se presentan unas conclusiones puntuales y recomendaciones.

## **CONCLUSIONES**

- En la zona de estudio, para la fecha no se ha realizado ningún trabajo de minería, por tal motivo, se denominó como zona virgen de Arcilla Blanca rica en Oxido de Aluminio
- El terreno abarca un área general de 70 Ha aproximadamente; sin embargo, el área bajo estudio en el cual se realizó el trabajo de investigación establecido por los promotores del proyecto Arcillas blancas venezolanas “ABV” es de 2,85 Ha, lo que equivale a 28.585 m<sup>2</sup>
- La secuencia litológica descrita en los núcleos extraídos de 15m es la siguiente: Arena Limosa, Limos, Arcilla y Arena Consolidada. Siendo concordante con trabajos previos en la zona
- los análisis de espectroscopia de fluorescencia de rayos X por dispersión de energía dio un rango de contenido de Oxido de Aluminio presentes en las arcillas entre el 24% y 31 %.
- Las arcillas se exhiben en forma consolidada y/o seca, con estratos masivos, estratos laminados y fracturados, adyacentes y separados solo por algunos metros, posiblemente en forma de bloque o paquetes masivos altamente variables, presentando un volumen calculado de 203.872,86 m<sup>3</sup> en la zona estudiada

- Método de Explotación propuesto es el Stripping Mine, con un sistema de extracción mediante Terrazas con dirección Noreste desde la cota 1.140 m.s.n.m. hasta 1.100 m.s.n.m.
- El área de trabajo presenta una geometría con de banco 5 metros altura, un ancho operativo mínimo para las maniobras de los equipos 23,84 metros y ángulo de banco 45°, que permiten tener una buena estabilidad
- Ancho de las vías de acceso y de acarreo serán de 9 metros y 14 metros respectivamente. La longitud de la vía de acarreo desde el frente de extracción hasta el galpón de almacenamiento de material es de aproximadamente 2,5 kilómetros.
- Los equipos propuestos son equipos medianos, en el que se tomaron como referencia:
  - Camión articulado Caterpillar 730 de capacidad 13,30 m<sup>3</sup>, con producción horaria de 22,95 m<sup>3</sup>.
  - Excavadora Caterpillar 336F capacidad del cucharón de 2,28 m<sup>3</sup>, con una producción horaria de 250,86 m<sup>3</sup>.
  - Cargador Frontal Caterpillar 662M capacidad del cucharón de, con producción horaria de 511,59 m<sup>3</sup>.
- Para una producción mensual requerida de 15.000 Toneladas, y un ciclo de producción de aproximadamente 25,50 minutos, se requieren de 705 ciclos al mes, con una producción horaria de 53, 26 m<sup>3</sup> en 22 turnos de 8 horas.
- El galpón de almacenamiento tendrá una dimensión de 100 metros de largo, 50 metros de ancho y 15 metros de alto, con una capacidad de almacenamiento de aproximadamente 30.000 m<sup>3</sup>.
- El taller mecánico tendrá una dimensión de 25 metros de largo, 10 metros de ancho y 10 metros de alto.
- Las oficinas y almacén de insumos serán de 12 metros de largo, 3,40 metros de ancho cada uno.
- Se requiere que los mantenimientos se realicen cada 250 horas para las maquinarias y 7.000 kilómetros para los vehículos.
- El despacho de combustible será de unos 30.000 litros al mes.

- Escombrera tendrá una capacidad de almacenamiento de 577.500 m<sup>3</sup> en un área de 19.250 m<sup>2</sup>. Usando el método de vertido libre para el depósito del material estéril.
- Para el talud final el ancho y altura de los bancos será de 5 metros, con un ángulo de 30°.

## RECOMENDACIONES

- Para evaluar futuros avances en las actividades extractivas, se deberían realizar un mallado de perforación para tener una descripción estratigráfica de la zona más detallada, y así, determinar la superposición de las capas de litológicas.
- Realizar ensayos de corte directo, para conocer el valor más exacto de cohesión y ángulo de fricción interna, que servirán para análisis de estabilidad de talud.
- Cuando las cargas se realizan por debajo del nivel de la máquina de carga si es material presenta buena estabilidad la altura del banco puede ser igual a la longitud del brazo de la máquina.
- La posición ideal del camión para ser cargado si esta al mismo nivel de la maquina es de 45° del tren de rodaje de la máquina, de estar por debajo del nivel de esta se deberá colocar la pared de la tolva cercana a la cara libre del talud del banco, de modo que debe por debajo la pluma y el cucharón de la máquina.
- Para reducir costos de operaciones es importante:
  - Seleccionar correctamente el tipo de equipo o maquinaria a utilizar, analizando primeramente la proyección general para luego dar un enfoque razonable a las tareas específicas.
  - Por su parte, se debe tratar de encontrar compatibilidad entre los equipos que se están usando dentro de las actividades para desarrollar lo mejor posible las operaciones, de lo contrario pudiera haber problemas o descontrol con los tiempo planificados o, no lograr con las producciones requeridas. A continuación se presentan algunas recomendaciones de equipos medianos compatibles de diferentes fabricantes:

VOLVO			CATERPILLAR		
Camión	Excavador	Cargador Frontal	Camión	Excavador	Cargador Frontal

A30G,A25G	EC480,EC530	L150,L180,L220	730,735	336, 349	950,962, 966
-----------	-------------	----------------	---------	----------	-----------------

- Zonas de carga, descarga y rampas de accesos en las mejores condiciones posibles para que los tiempos sean reducidos y haya dificultad en las operaciones.
- Evitar el derrame de material en la vía de acarreo por exceso de carga en los camiones, esto aumentaría los costos de mantenimientos, consumo de combustible y retardo en las operaciones.
- Es importante realizar los mantenimientos dentro de los tiempos programados, ya que los equipos en buenas condiciones reducen los costos operativos generales, mejoran la producción y extienden la vida útil.
- Diariamente deben soplarse los filtros de aire y engrasar las máquinas para evitar el desgaste por roce de las piezas de los componentes hidráulicos.
- Durante el turno deben realizarse riego de las vías y rampas, esto eliminara el levantamiento de polvo e incidentes que este puede provocar, y también ayuda a la compactación de la vía. El patrón de riego debe ser en cuadrículas intermitentes para así evitar deslizamientos y acumulación de agua en secciones.
- Las vías y rampas deben ser uniformes y constantes para mantener una velocidad promedio y minimizar los cambios en la caja de velocidades.
- Para el drenaje de las aguas por precipitaciones, la vía debe tener un declive de máximo de 2% para que no se formen charcos, pozos o cárcavas.
- En rampas el declive debe ser menor al 1%, para evitar incomodidad y dificultad en las operaciones de maniobras y aumentar la seguridad.
- En las operaciones de descarga se propone que sean una carga a un lado de la otra a fin de facilitar luego el acomodo de la pila. Esta descarga se puede hacer a lo largo o ancho del galpón de almacenamiento.
- En tiempos climatológicos malos (Fuertes vientos que dificulten la visibilidad, lluvias), generan condiciones que pueden ocasionar incidentes, por lo que a veces se debe tomar la decisión de disminuir o detener las operaciones a fin de evaluar las

condiciones del área de trabajo, para su posterior acción de correcciones de ser necesario.

- En escombreras, después de un evento de lluvias fuertes revisar la base de ella, a fin de evaluar una posible acumulación de agua que pueda afectar la base de la misma. De suceder este evento se deberá drenar cualquier volumen de agua que se halla estancado, creando drenajes artificiales para que el fluido tenga salida.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

Álvarez M. (2006). *Estudio neotectónico de las cuencas de El Tocuyo, Quíbor y Yay, estado Lara*. Universidad Central de Venezuela. Trabajo especial de grado inédito.

Amethyst Galleries. (2007, febrero 22). *The Clay Mineral Group*. <http://galleries.com/minerals/silicate/clays.html>

Baca, M. Oyarse, J. Sánchez, H y Tirado, K. (2020). *Sistema de Acarreo minero*. Universidad nacional de Cajamarca- Perú. Facultad de Ingeniería.

Bailey, S. (1980). *Summary of recommendations of AIPEA nomenclature committee on clay minerals*. Capítulo 65. (Pp.1-7).

Bates, R. & Jackson, J. (1980). *Glossary of Geology*. American Geological Institute, Falls Church, Virginia.

Becker, G. (1888). *Geology of the Quicksilver deposits of the Pacific slope: U.S. Geological Survey Monograph 13*, (pp. 486).

Bernal, L., & Suescún, E. (2015). *Manual de obras de bioingeniería en zonas de laderas*. Universidad Nacional de Bogotá.

Bushman, J. (1959). *Geology of the Barquisimeto area*. A summary report. Boletín Informativo 2(4). (pp. 65-84). Asociación Venezolana de Geología., Minas y Petróleo.

Bushman, J. (1965). *Geología del Área de Barquisimeto, Venezuela*. Boletín de Geología 6(11). (pp.3-113). Asociación Venezolana de Geología., Minas y Petróleo.

Bustillo, M. & Lopez, C. (1997). *Manual de Evaluación y Diseño de Explotaciones Mineras*. Madrid: Entorno Gráfico distribuidor.

Campos V., Osuna, S. & Guedez, V. (1977). *Geología de la región noroeste de Acarigua y al sur de la Falla de Boconó*. II Congreso Latinoamericano de Geología. Memoria 3. (pp.1669-1681).

Campos, V., Guedez, V. & Osuna, S. (1979). *Geología de la Serranía de Portuguesa*. Boletín de Geología, 13(25). (pp.3-40).

Chacón, E. (1991). *Técnicas de operaciones de minería de superficie: incluyendo aspectos económicos, administrativos y el impacto de la minería en el medio ambiente*. Universidad del Oriente.

COVENIN. (1989). *Ropa, Equipos y dispositivos de protección personal. Selección de acuerdo al riesgo Ocupacional*. Comisión Venezolana de normas industriales Ministerio de fomento. Norma Venezolana.

Constitución De La República Bolivariana De Venezuela. (1999, diciembre 30). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela No. 36.860.

Caterpillar inc. (2016). *Manual de Rendimiento Caterpillar*. (Ed. 46). Caterpillar Inc.

Evanoff, J., Zozaya D., Alcántara C. & Fernández J. (1957). *Arcillas blancas en el Estado Lara*. Boletín de Geología, 4(9). (pp.83-93).

García & Suarez. (2003, noviembre 27). *Las arcillas: propiedades y usos*. Curso Ingeniería de Minas y Petróleos. <http://www.uclm.es/users/higuera/yymm/Arcillas.html>

Garrity, C., Hackley, P. & Urbani, F. (2004). *Digital Shaded-Relief Map of Venezuela*. <http://doi.org/10.3133/ofr20041322>

Giraldo, C. (1985). *Néotectonique et sismotectonique de la région d'El Tocuyo-San Felipe (Vénézuéla centro-occidental)*. (pp.130). PhD Tesis, Université de Montpellier II.

Grim, R. (1953). *Clay mineralogy*. (pp.384). Editorial McGraw-Hill Book Co., Inc.

Hernández, F. (2005). *Seguridad e Higiene Industrial*. Editorial Limusa. Ciudad de México, México.

Herrera, J. (2006). *Métodos de minería a cielo abierto*. DOI: 10.20868/UPM.book.10675. <http://oa.upm.es/10675/>

Hoek, E., Marinos, P. & Benissi, M. (1998). *Applicability of the Geological Strength Index (GSI) Classification for very Weak and Sheared Rock Masses*. The Cases of the Athens Schist Formation. Bull. Neg... Geol. Env, 57(2), (pp.151-160).

Hustrulid, W. (2006). *Open pit mine, planing & desing*, 1. Editorial Taylor & Francis.

Instituto Geográfico De Venezuela Simón Bolívar. (2005, noviembre 25). *Mapas de clima y Taxonomía de suelos*. <http://www.igvsb.gov.ve/site2006/mapas.php>.

Jefferson, C. (1964). *Post. Eoceno entre Quíbor y Sanare, Estado Lara*. Asociación Venezolana de Geología, Minas y Petróleo. Boletín, 7(7). (pp.219-224).

Koëppen, W. (1948). *Climatología*. Fondo de Cultura Económica. México. (pp.439).

Léxico Estratigráfico De Venezuela. (1999). Disponible en: <http://www.lexicoestratigraficodevenezuela.com>

López, C. & Otros. (1996). *Recursos Minerales*. Editorial Entorno Grafico.

Ortuño, L. (2004). *Curso de geotecnia para infraestructuras*. Estabilidad de taludes en suelo. Uriel y Asociados S.A.

Petróleos de Venezuela S.A. (1993). *Imagen de Venezuela., una visión espacial*. (pp.271).

Petróleos de Venezuela S.A.-INTEVEP. (1997). *Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela (L.E.E.V.)*. [www.pdvsa.com/lexico](http://www.pdvsa.com/lexico). Consulta: 1 de noviembre de 2023.

Piña, A. (2007) *Taller de Diseño y Manejo de Escombreras*. Material de Clases Laboreo a Cielo Abierto. Inédito. <http://saber.ucv.ve>

Piña, A. (2021). *Propuesta metodológica para el cambio de un programa de estudio de enseñanza por objetivos a enseñanza por competencias, caso: laboreo a cielo abierto*. Trabajo de Ascenso. Inédito. <http://hdl.handle.net/10872/21031>

Rivadeneira, E. (2010). *Descripción geológica y cálculo de reservas de arcilla de la cantera "La Cabrera"; Municipio Tomás Lander, Estado Miranda*.

Ross, C. & Shannon, E. (1926), *The minerals of bentonite and related clays and their physical properties*. American Ceramic Society Journal. (pp.76-95).

Salazar, F. & Alarcón, D. (2016). *Evaluación económica para explotación de arcillas tipo caolinita en la concesión minera Rumicucho, centro poblado Huayrapongo, distrito de Llacanora, Provincia y Departamento de Cajamarca*. Tesis de grado. Universidad Privada Del Norte. Perú.

Stephan, J. (1977). *El contacto Cadena Caribe-Andes Merideños entre Carora y El Tocuyo (Edo. Lara): Observaciones sobre el estilo y la edad de las deformaciones cenozoicas en el occidente venezolano*. V Congreso Geológico Venezolano. 2, (pp.789-816).

Stephan J. (1982). *Evolution Géodynamique du domaine Caraïbes: zAndes et Chaîne Caraïbes sur la Transversale de Barquisimeto, Venezuela*. PhD Tesis. Université Pierre et Marie Curie. VI, (pp.512)

Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2024, febrero 20). *Informe quincenal de la SNMPE*. <https://www.snmpe.org.pe>.

Solanilla, J. (2003). *Gerencia de equipos para obras civiles y mineras*. Editorial Bhandar Editores.

Suárez. (2013). *Sistema de estabilidad de taludes*. Universidad de Cartagena, Bucaramanga.

Vallejo, L. (2002). *Ingeniería Geológica*. Editorial Pearson Educacion.

Villate & Torres. (2001). *Levantamiento Topográfico: uso del GPS y estación total*. (pp.17). <https://www.saber.ula.ve>

Villanueva, C. (2014). *Diseño de vías y rampas en minería a cielo abierto*. <http://www.prezi.com/lgxjp78lbfld/disenio-de-vias-y-rampas-en-mineria-a-cielo-abierto/>.

Von der osten, E. & D. Zozaya. (1957). *Geología de la parte Suroreste del Estado Lara, Región de Quibor (Carta 2308)*. *Boletín de Geología*. 4(9), (pp.3-53).