

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**CARACTERIZACIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL FRENTE “MINA 2” DE CANTERA
BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR, PARA POSIBLES USOS INDUSTRIALES**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por las **Brs. Frías Landa, Ana Gabriela y
Mata Soriano, Daryela Karlee**
Para optar al Título
de **Ingeniero de Minas**

Caracas, 2018

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**CARACTERIZACIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL FRENTE “MINA 2” DE CANTERA
BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR, PARA POSIBLES USOS INDUSTRIALES**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Miguel Castillejo

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. José Contreras

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por las **Brs. Frías Landa, Ana Gabriela y
Mata Soriano, Daryela Karlee**
Para optar al Título
de **Ingeniero de Minas**

Caracas, 2018

Caracas, marzo 2018

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por las Bachilleres, titulado:

**CARACTERIZACIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL FRENTE “MINA 2” DE CANTERA
BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR, PARA POSIBLES USOS INDUSTRIALES**

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

Prof. José Luis de Abreu
Jurado

Prof. Sebastián Grande
Jurado

Tutor Académico
Prof. Miguel Castillejo

DEDICATORIA

Daryela Mata

A Eglee T. Mata S. por darme la vida y su amor incondicional, por ser mi madre y mi padre, por creer en mi aun cuando ni yo misma lo hacía y sobre todo por enseñarme, que al caer se levanta, a ti mami.

Ana Frías

A mi familia por brindarme su amor, cariño y paciencia a lo largo de esta experiencia sin importar las dificultades.

AGRADECIMIENTOS

A la Ilustre casa de estudios que Vence Las Sombras, la Universidad Central de Venezuela por abrir nuestros caminos, a nuestro tutor el Profesor Miguel Castillejo por apoyarnos e impartirnos todos los conocimientos necesarios para la realización de este proyecto, al igual que el profesor José Contreras por el apoyo y financiamiento económico a través de la empresa PEDECA C.A. Gracias a los profesores que nos asesoraron y aclararon las dudas presentadas.

Daryela Mata

A mi familia especialmente a mi madre, a mi abuela Teresa por ser tan especial conmigo, mis hermanos Omarlys y Luis David por ser mi inspiración, a mis tías Elizabeth y María por ser las mejores tías del mundo y a tía Marlenis por ser nuestro ángel en el cielo.

A mis amigos, sin ellos la carrera hubiese sido intolerable, lo vivido dentro y fuera de las aulas quedará en mis recuerdos para siempre, gracias por ser los mejores, algunos más que compañeros y se podría decir que son mis hermanos. Por último y no menos importante gracias a mi compañera de tesis por compartir conocimientos y aguantarme durante estos meses de estrés.

Ana Frías

A mi madre Gabriela Elena Landa Cisneros y mi padre Herman Vicente Frías Osio, por su paciencia y apoyo incondicional. De manera muy especial a mi hermana Gabriela Anastacia Gómez Landa. Al resto de mi familia sin su apoyo esto no sería posible.

A mi compañera de tesis y amiga, por haber tenido la paciencia necesaria y por motivarme para seguir adelante en los momentos de desesperación.

Frías L., Ana G. y Mata S., Daryela K.

**CARACTERIZACIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL FRENTE “MINA 2” DE CANTERA
BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR, PARA POSIBLES USOS INDUSTRIALES**

Tutor Académico: Prof. Miguel Castillejo

Tutor Industrial: Ing. José Luis Contreras

Trabajo Especial de Grado. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería
Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Año 2017, 118P

Palabras Claves: Bolívar (estado), Ciudad Bolívar, Cantera Bolívar - PEDECA, C.A, Caracterización, Usos Industriales, Minería – Producción, Minería - Explotación, Planificación Minera, Estudio del Mercado, Criterios Geométricos, Perforación y Voladura, Minería – Impactos Ambientales.

RESUMEN

Este trabajo de investigación tiene como objeto la caracterización y planificación del yacimiento perteneciente al frente “Mina 2” de Cantera Bolívar- PEDECA, C.A, ubicada en el estado Bolívar, encargada de producir agregados de construcción. Con la finalidad de evaluar lo posibles usos industriales (arenas apuntalantes, grava para frac-pack y balasto) e integrarlos en un incremento de producción de 60.000 m³ previsto por la empresa. Para ello se elaboró un sondeo del mercado donde se identificó la necesidad de aumentar la oferta de estos materiales.

Los ensayos realizados, amparados por las normativas correspondientes, fueron: reacción a los ácidos, turbidez, densidad aparente, densidad bulk, triturabilidad, para arena apuntalante y grava para frac pack, y ensayo de los ángeles y Micro-Deval para balasto. Con ello, se logró determinar que la roca no cumple con los parámetros necesarios para ser usada con los fines propuestos.

Sin embargo, para abastecer el aumento de producción propuesto, se planificó en base a los productos que actualmente ofrece la cantera. El diseño utilizado en el frente de explotación “Mina 2” fue del tipo *open pit*, estableciendo una altura de banco de 10 m, ángulo de banco de trabajo de 72°, ángulo de *pit* final de 46°, ancho de vía de 12,6 m y ancho de berma de 6,5 m mediante el desarrollo de 4 bancos para un periodo de 8 años y 8 meses, con una cantidad de material aprovechable de 514.487,41 m³. Se estimaron los equipos necesarios para cumplir con la meta de producción, deduciendo que los disponibles en la cantera son capaces de lograr la misma, además, se describieron los impactos ambientales con el fin de prevenir, mitigar y corregir los daños generados.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
CAPITULO I GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.1. Planteamiento del problema	18
1.2. Objetivos de la Investigación	18
1.2.1. Objetivo General	18
1.2.2. Objetivos Específicos	18
1.3. Justificación	19
1.4. Alcance de la investigación	20
1.5. Limitaciones	20
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	21
2.1. Antecedentes de la investigación	21
2.2. Generalidades de la investigación	21
2.2.1. Ubicación geográfica	21
2.2.2. Generalidades de la empresa	22
2.2.3. Aspectos físico-naturales.....	25
2.2.4. Geología regional.....	26
2.2.5 Geología local	29
2.3. Bases teóricas	29
2.3.1. Planificación minera	29
2.3.2. Método de los perfiles	30
2.3.3. Parámetros geométricos del diseño minero	31
2.3.4. Pistas y rampas	32
2.3.5. Estudio de mercado.....	33
2.3.6. Fracturamiento hidráulico.....	34

2.3.7.	Material apuntalante.....	34
2.3.8.	Empaque de grava o frac pack	35
2.3.9.	Propiedades físicas y mecánicas de los apuntalantes.....	36
2.3.10.	Balasto ferroviario	39
2.4.	Marco legal	42
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO		45
3.1.	Tipo de investigación	45
3.2.	Diseño de la investigación	45
3.3.	Población y muestra	46
3.4.	Instrumentos de investigación.....	46
3.4.1.	Etapa 1: Caracterización del frente “Mina 2”	46
3.4.2.	Etapa 2: Sondeo del mercado	48
3.4.3.	Etapa 3: Planificación	49
3.5.	Análisis de datos	49
3.5.1.	Etapa 1: Caracterización del frente “Mina 2”	49
3.5.2.	Etapa 2: Sondeo del mercado	60
3.5.3.	Etapa 3: Planificación	60
CAPITULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS		67
4.1.	Sondeo del mercado	67
4.1.1.	Material apuntalante y grava para frac pack	67
4.1.2.	Balasto Ferroviario	71
4.2.	Caracterización del frente “Mina 2”, para arenas apuntalantes y grava para frac pack.....	74
4.2.1.	Análisis mineralógico.....	74
4.2.2.	Granulometría inicial	78
4.2.3.	Ensayo de resistencia a los ácidos.....	79

4.2.4.	Ensayo de turbidez	80
4.2.5.	Determinación de la densidad bulk y densidad aparente.....	81
4.2.6.	Ensayo de triturabilidad	83
4.3.	Caracterización del frente “Mina 2”, para balasto	87
4.3.1.	Granulometría inicial	87
4.3.2.	Ensayo de los Ángeles	88
4.3.3.	Ensayo Micro-Deval.....	89
4.3.4.	Resistencia a la compresión uniaxial de la roca	91
4.4.	Estimación del material aprovechable	92
4.5.	Criterios operativos de la explotación	94
4.5.1.	Estudio geotécnico	94
4.5.2.	Altura de banco	96
4.5.3.	Ángulo de talud de trabajo.....	96
4.5.4.	Ancho mínimo operativo.....	96
4.5.5.	Angulo de banco final.....	97
4.5.6.	Vías y rampas de acceso.....	98
4.6.	Selección de equipos	99
4.6.1.	Producción horaria	99
4.6.2.	Selección de equipos de carga y acarreo	100
4.6.3.	Número de camiones necesarios	101
4.7.	Perforación y voladura.....	102
4.7.1.	Secuencia de explotación	102
4.7.2.	Cálculo de los parámetros de voladura.....	103
4.7.3.	Patrón de perforación e iniciación	104
4.7.4.	Requerimiento de los explosivos.....	105

4.8. Impactos generados por la actividad.....	107
4.8.1. Medidas preventivas, mitigantes y correctivas de los impactos generados.....	108
CONCLUSIONES	111
RECOMENDACIONES	112
BIBLIOGRAFÍA.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Ubicación geográfica de la zona de estudio. Fuente: Google Earth.....	22
Figura 2.2	Diagrama de Procesamiento Mineral de la Planta	25
Figura 2.3	Provincias geológicas del Escudo de Guayana, Venezuela. Fuente: Mapa metalogénico de Venezuela. 1980, M.E.M.	28
Figura 2.4.	Métodos de los perfiles. Fuente: (Bustillo Revuelta, y otros, 1997)	31
Figura 2.5	Fracturamiento hidráulico. Fuente: Noticia de Insturia (2015). Disponible en: http://es.wlproppant.com/html/view_24.html	35
Figura 2.6	Empaquetamiento de grava.....	36
Figura 2.7.	Gráfica de Krumbein para obtener los valores de redondez y esfericidad del apuntalante. Fuente: Uriostegui C. Víctor E. (2011) Fracturamiento hidráulico en yacimientos de alta permeabilidad. Universidad Nacional Autónoma de México.....	37
Figura 3.1.	Metodología empleada.....	46
Figura 3.2.	Balanza ACS Scale (d=5g) y balanza Adventurer (d=0.0001g)	47
Figura 3.3.	Mezclador y batería de tamices.....	47
Figura 3.4.	Máquina de los Ángeles. Laboratorio de Mecánica de Rocas, U.C.V	48
Figura 3.5.	Turbidímetro. Laboratorio de Química Instrumental, U.C.V.....	48
Figura 3.6.	Ubicación de los frentes de explotación de Cantera Bolívar.....	49
Figura 3.7	Frente “Mina 2” (M1FE).....	50
Figura 3.8	Cuarteo y pesado de la muestra 2427-1.....	51
Figura 3.9	Muestras tamizadas.....	52
Figura 3.10	Filtración de la mezcla	53
Figura 3.11	Soluciones en reposo	54

Figura 3.12	Curva de calibración.....	54
Figura 3.13	Procedimiento para determinar la densidad bulk.....	55
Figura 3.14	Picnómetro con la muestra y el xileno técnico.....	55
Figura 3.15	Prensa hidráulica y muestra	56
Figura 3.16	Selección de muestras	57
Figura 3.17	Proceso del ensayo Micro Deval.....	59
Figura 4.1	Simulación de la formación B2-X.68 (Eocenofrac). Fuente PDVSA INTEVEP.....	69
Figura 4.2	Campos petroleros venezolanos. Fuente: http://geologiavenezolana.blogspot.com	69
Figura 4.3	Canales de comercialización vía terrestre a campos petrolíferos. Fuente: Google Maps.....	71
Figura 4.4.	Mapa Proyectos Ferroviarios de Venezuela. Fuente: Instituto de Ferrocarriles del Estado (IFE).....	72
Figura 4.5	Criterios Simplificados Sobre la Distribución de Presiones por la Capa de Balasto. Fuente: Recomendaciones de diseño para proyectos de infraestructura ferroviaria, MIDEPLAN Santiago de Chile, 2003	73
Figura 4.6	Fotomicrografía muestra CPB-1 (NX) 10X/2X. Fuente: Estudio Geológico – Geotécnico del área de explotación, Torres C. (2015) - Constructora PEDECA C.A. Cantera Bolívar.....	74
Figura 4.7	a) Fotomicrografía muestra CPB-1 (NX) 10X/10X b) Fotomicrografía muestra CPB-1 (NX) 10X/10X. Fuente: Estudio Geológico – Geotécnico del área de explotación, Torres C. (2015) - Constructora PEDECA C.A. Cantera Bolívar.....	74
Figura 4.8	Curva granulométrica inicial de las muestras 2427 global	78
Figura 4.9	Curva granulométrica, primera etapa de molienda	79
Figura 4.10	Curva granulométrica, segunda etapa de molienda	79
Figura 4.11	Ensayo de triturabilidad para la muestra 2427-1	84

Figura 4.12	Ensayo de triturabilidad para la muestra 2427-2	84
Figura 4.13	Ensayo de triturabilidad para la muestra 2427-3	85
Figura 4.14	Ensayo de triturabilidad para la muestra 2427-4	85
Figura 4.15	Gráficas Esfuerzo Vs Deformación- Esfuerzo, Deformación vs Tiempo. 2427-1, MIN	86
Figura 4.16	Gráficas Esfuerzo Vs Deformación- Esfuerzo, Deformación vs Tiempo. 2427-1, MAX	86
Figura 4.17	Curva granulométrica inicial de las muestras.....	88
Figura 4.18	Muestra inicial y final al ensayo Micro Deval	91
Figura 4.19	Método de los perfiles en el área de concesión minera Cantera Bolívar.....	92
Figura 4.20	Zonas estudiadas para la aplicación del método SMR de Romana. Tomado del Estudio Geológico – Geotécnico del área de explotación, realizado por Torres C. 2015 - Constructora PEDECA C.A. Cantera Bolívar	95
Figura 4.21	Diseño geométrico de los bancos operativos.....	97
Figura 4.22	Diseño geométrico de los bancos finales	98
Figura 4.23	Sección transversal del diseño de las vías	99
Figura 4.24	Parámetro de perforación y voladura para el Banco N°1.....	103
Figura 4.25	Parámetro de perforación y voladura para el Banco N°2.....	103
Figura 4.26	Parámetro de perforación y voladura para el Banco N°3.....	104
Figura 4.27	Parámetro de perforación y voladura para el Banco N°4.....	104
Figura 4.28	Patrón de disparo en Echelon	105
Figura 4.29	Diseño final de las vías y rampas de acceso.....	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.	Coordenadas UTM Cantera Bolívar. Fuente: Levantamiento de Coordenadas realizado por el Instituto Autónomo Minas Bolívar (IAMIB)	22
Tabla 2.2.	Comparación de densidades de apuntalantes comunes	38
Tabla 3.1.	Tabla de tamices ASTM	51
Tabla 3.2.	Esfuerzos máximos permisibles.....	57
Tabla 3.3.	Requerimientos de granulometría IFE	57
Tabla 3.4.	Requerimientos Ensayo Los Ángeles	58
Tabla 3.5.	Variables de diseño respecto a la Resistencia a la Compresión Simple ...	63
Tabla 3.6.	Tiempos de retardo (Kenya y Walter). Fuente: I.T.E.G. (1994) “Manual de perforación y Voladuras de Rocas”	66
Tabla 4.1.	Resumen parámetros de simulación de la formación B2-X.68 (Eocenofrac).	68
Tabla 4.2.	Ubicación de los campos petroleros de la Provincia Occidental.....	70
Tabla 4.3.	Ubicación de los campos petroleros de la Provincia Oriental.....	70
Tabla 4.4.	Red ferroviaria según el Instituto de Ferrocarriles del Estado.....	72
Tabla 4.5.	EFE Norma Técnica de Construcción de Vía Férrea.....	73
Tabla 4.6.	Minerales en orden de abundancia decreciente	75
Tabla 4.7.	Máxima solubilidad recomendada a los ácidos.....	80
Tabla 4.8.	Reacción a los ácidos	80
Tabla 4.9.	Ensayo de turbidez	81
Tabla 4.10.	Determinación de la densidad bulk de las muestras.....	82
Tabla 4.11.	Densidad bulk	82

Tabla 4.12.	Determinación de la densidad aparente de las muestras.....	83
Tabla 4.13.	Densidad aparente	83
Tabla 4.14.	Deformaciones máximas vs esfuerzos, en el tiempo.	87
Tabla 4.15.	Contenido máximo de finos permitido de acuerdo a la Norma ISO 13503-2, del ensayo de Resistencia a la triturabilidad, para diferentes granulometrías.....	87
Tabla 4.16.	Resultados ensayo Los Ángeles, 2428	89
Tabla 4.17.	Resultados ensayo Micro Deval, 2428-1	89
Tabla 4.18.	Resultados ensayo Micro Deval, a 2428-2	90
Tabla 4.19.	Resultados ensayo Micro Deval, 2428-3	90
Tabla 4.20.	Resultados de los ensayos físico-mecánicos	91
Tabla 4.21	Valores de área y volumen, método de los perfiles.....	93
Tabla 4.22	Resumen de la aplicación del método RMR de Bienaswki.....	94
Tabla 4.23	Resumen de la aplicación del método SMR de Romana.....	95
Tabla 4.24.	Inclinaciones de taludes recomendadas según Howard L. Hartman “Introductory Mining Engenieering”	96
Tabla 4.25	Especificaciones Operativas	97
Tabla 4.26.	Caculo del tiempo efectivo.....	99
Tabla 4.27.	Caculo de la producción horaria.....	100
Tabla 4.28.	Especificaciones de los equipos de carga de Cantera Bolívar	100
Tabla 4.29	Capacidad nominal del balde teórica y real del equipo de carga	100
Tabla 4.30	Especificaciones de los equipos de acarreo en Cantera Bolívar	101
Tabla 4.31.	Cálculo del tiempo de ciclo de carga y acarreo, teórico y real.....	101
Tabla 4.32.	Cálculo número de camiones teórico y real.....	102

Tabla 4.33	Cantidad y duración del material a remover.....	102
Tabla 4.34	Dimensiones del área de explotación	105
Tabla 4.35	Cálculo de los explosivos y accesorios de la voladura.....	106
Tabla 4.36.	Cuadro de impactos al sistema físico natural.....	107
Tabla 4.37.	Cuadro de impactos al sistema Biológico.....	108
Tabla 4.38.	Cuadro de impactos al sistema Biológico.....	108

INTRODUCCIÓN

Cantera Bolívar pertenece a la empresa constructora PEDECA, C.A, y se ubica en la Carretera Ciudad Bolívar – Puerto Ordaz, en el km 3, sector Marhuanta, Municipio Heres, Estado Bolívar, dedicándose a la obtención de agregados de construcción, con una producción anual de 30.000 m³. Actualmente, la empresa formuló la necesidad de un aumento dicha producción a 60.000 m³/año, siendo necesario el planteamiento de una planificación minera a mediano plazo del frente principal: “Mina 2”.

Aprovechando este aumento se propone la ampliación del abanico de productos ofrecidos por la cantera, mediante la caracterización del yacimiento para así poder evaluar los distintos usos industriales que pueda tener. Específicamente, para arena apuntalante, grava para frac pack y balasto.

Esta oportunidad de ampliar los productos en la cantera, surge debido a que las técnicas utilizadas en cuanto a la producción de crudo, mediante el fracturamiento hidráulico, requieren de un material que permita operar como canal conductivo a través de las fracturas generadas por el método, que facilite la recuperación de los fluidos (arena apuntalante) y poder controlar la producción de arenas provenientes del yacimiento (grava para frac pack). Para la industria de preparación y elaboración de áridos estas arenas especiales representan un nuevo mercado de gran interés dado su elevado precio, condicionado en parte por una demanda creciente y por el lado por una oferta limitada. Conjuntamente, se propone el estudio para la inclusión del balasto como el tercer uso industrial en la línea de producción, con el objetivo de incursionar en el mercado ferroviario, aprovechando la demanda insatisfecha existente.

Con los resultados obtenidos se plantea la inclusión al sistema productivo de estos nuevos usos industriales, sin embargo para darle continuidad a la planificación, el aumento de la producción se establece para los productos que actualmente ofrece la cantera (piedra #1 y 2, arrocillo y polvillo).

La presente investigación está estructurada de la siguiente forma: CAPÍTULO I GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN, con la finalidad de exponer el planteamiento del problema, los objetivos planteados y la justificación del trabajo. El CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO donde se presentan los antecedentes y las características de la empresa, así como también el marco teórico del trabajo, donde se muestran todos los conceptos necesarios para la obtención de resultados, aunado a esto, se encuentra la información sobre la geología regional y local de la zona, en conjunto con las características climatológicas y topográficas. El CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO, el cual consta de la metodología empleada para la realización de los objetivos planteados, CAPÍTULO IV RESULTADOS donde se presentan las respuestas a cada uno de los objetivos específicos, para cerrar se desarrollan las CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES.

CAPITULO I

GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se encuentran las generalidades de la investigación la cual comprende el planteamiento del problema, objetivo general y los objetivos específicos de la investigación, además la justificación, alcance y limitaciones del trabajo.

1.1. Planteamiento del problema

Partiendo de la necesidad la empresa constructora PEDECA, C.A, del aumento de la producción anual en Cantera Bolívar C.A., se propone a través del siguiente trabajo de investigación el desarrollo de una caracterización de la roca aflorante, con el propósito de determinar si es apta para ser usada en la industria petrolera como agente apuntalante y grava para frac pack, y en la industria ferroviaria como balasto. No sólo con la finalidad de aumentar los ingresos de la cantera sino también para ampliar la cartera de productos ofrecidos por la misma y así poder incursionar en nuevos mercados.

Los ensayos a realizar están estipulados en la norma ISO 13503-2 para agente apuntalante y grava para frac pack y para balasto en las normas ASTM y COVENIN, designadas por el Instituto de Ferrocarriles del Estado. Con los resultados obtenidos, se determinará si finalmente pueden ser incluidos en la nueva planificación minera a mediano plazo solicitada por la empresa, de lo contrario resulta prioridad seguir con el proceso productivo de la piedra picada para agregados de construcción y mezclas asfálticas que actualmente tiene lugar en la cantera.

Esta planificación, abarcará lo referente a la cuantificación de los recursos existentes dentro de los límites de afectación de Cantera Bolívar. El diseño geométrico enfocado en el frente de principal interés "Mina 2" y su respectiva secuencia de explotación, con la descripción de los impactos ambientales producidos por las labores mineras.

1.2. Objetivos de la Investigación

1.2.1. Objetivo General

Realizar la caracterización y planificación del yacimiento perteneciente al frente "Mina 2" de Cantera Bolívar, para posibles usos industriales.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar las propiedades físicas, químicas y mecánicas del frente "Mina 2" de Cantera Bolívar.

- Ejecutar un sondeo en el mercado venezolano de material apuntalante, grava de empaque para frac pack y balasto, en conocimiento de las características más relevante en este medio.
- Estimar mediante el método de los perfiles el volumen de material aprovechable en Cantera Bolívar.
- Establecer el diseño geométrico de la explotación del frente “Mina 2” y las rampas de acceso.
- Proponer la secuencia de explotación del frente “Mina 2” y su respectivo patrón de perforación y voladura.
- Estimar el número de equipos de cantera necesario en las operaciones unitarias para lograr la producción requerida.
- Describir la mitigación de impactos ambientales tomando en consideración la ampliación de la producción.

1.3. Justificación

Resulta necesario y apremiante este estudio, principalmente para la elaboración de una planificación minera del frente “Mina 2”, con fines de satisfacer una producción de 60.000 m³ al año, estipulada por la empresa constructora PEDECA, C.A. Por otra parte, la posible inclusión de tres nuevos productos a la línea de producción, debido a la presunta existencia de una demanda insatisfecha de las arenas utilizadas como apuntalante en la producción de crudo, mediante el método de fracturación hidráulica y las gravas para frac pack, que actualmente son requeridas por Petróleos de Venezuela S.A (PDVSA). También incursionar en el mercado del balasto, ya que este resulta ser el material necesario para ser colocado debajo de los durmientes y aportar estabilidad a las vías férreas, esto en consecuencia de la demanda del producto por parte del Instituto de Ferrocarriles del Estado (IFE), para el desarrollo actual de diversos proyectos de esta índole.

Todo esto con el propósito de que Cantera Bolívar no solo logre expandir y diversificar su portafolio de productos, sino que también forme parte del mercado nacional de materia prima, necesaria para poder llevar a cabo las actividades petroleras extractivas por medio del fracturamiento hidráulico. Lo que influiría directamente en la reducción de costos de producción de PDVSA al sustituir un material que actualmente es importado, por uno que se espera que cumpla con las mismas propiedades y atributos, pero que sea producido nacionalmente. Además, poder suplir el balasto necesario para el desarrollo de los distintos proyectos ferroviarios. Con ello, Cantera Bolívar se beneficiaría por el significativo aumento de su producción, aumentando las fuentes de

trabajo para las comunidades aledañas, y cumpliendo con los requerimientos y necesidades de los nuevos clientes, PDVSA e IFE.

1.4. Alcance de la investigación

Esta investigación se divide en tres bloques, el primero contempla un sondeo del mercado, donde se recopilará la información referente a la oferta y demanda de las arenas apuntalantes, gravas para frac pack y balasto, así poder establecer un aproximado de las necesidades actuales del mercado nacional. En paralelo se ejecutarán los ensayos propuestos en las respectivas normas ISO, ASTM y COVENIN, necesarias para la caracterización del yacimiento mineral de las zonas de interés. Por último, se realizará una planificación a mediano plazo del frente “Mina 2”, a petición de Cantera Bolívar, donde se estimará un aproximado de los recursos aprovechables con ayuda de información geológica y geotécnica proporcionada por la empresa; luego se establecerá el diseño geométrico, la secuencia de explotación y la descripción de los impactos ambientales, todo esto con fines técnicos, por lo que no se considerarán aspectos financieros en este proyecto.

1.5. Limitaciones

La primera limitación de este estudio es la poca información por parte de PDVSA y el IFE, en lo que respecta a la cuantificación de la oferta y demanda, por lo que será necesaria la aproximación y extrapolación de datos para lograr estructurar el sondeo del mercado. Otro aspecto importante es que Cantera Bolívar no cuenta con un modelo geológico del yacimiento, por lo que no se conoce la distribución del material de interés y el estéril, esta carencia en conjunto con la falta de información topográfica de algunas zonas, afecta la precisión de diseño geométrico de la explotación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se encontrarán los antecedentes y bases teóricas que sustentan la investigación.

2.1. Antecedentes de la investigación

Gómez T., Yoel R. (2017). Planificación a largo plazo de la unión de las Canteras El Samán y Agua Viva II, ubicado en San Sebastián de los Reyes, estado Aragua.

“El cual tiene por objeto proponer la planificación a largo plazo para la unión de las canteras El Samán y Agua Viva II, ubicadas en San Sebastián de Los Reyes, estado Aragua, esto considerando el volumen de material aprovechable presente en ambas unidades de producción, los Índices Clave de Productividad de los equipos de carga y acarreo, parámetros de diseño técnicos y operativos para el desarrollo del método de explotación, bancos y vías.”.

Méndez R., Yusbelys M. (2017). Planificación a largo plazo de la explotación de frente 04, Cantera Carayaca, ubicada en Tacagua, Distrito Capital.

“El cual tiene por objeto proponer la planificación a largo plazo para la explotación de Frente 04, Cantera Carayaca, la cual se encuentra ubicada en Tacagua, Distrito Capital. Dentro de la planificación, se consideran criterios operativos, geométricos, geotécnicos y medioambientales, tales como las dimensiones del área de explotación, pendiente del terreno, condiciones actuales del área de explotación, distancias de transporte, estabilidad de los taludes y medidas para prevenir, mitigar y corregir los impactos ambientales que conlleva la explotación de Frente 04.”

2.2. Generalidades de la investigación

2.2.1. Ubicación geográfica

Cantera Bolívar está ubicada en el Km 3 de la Carretera Ciudad Bolívar – Puerto Ordaz, Parroquia Marhuanta, del Municipio Heres, Estado Bolívar, como se puede apreciar en la figura 2.1. Enmarcada en una poligonal cerrada, cuyas Coordenadas Universal Transversal Mercator (UTM) son las reflejadas en la tabla 2.1 presentada a continuación:

Tabla 2.1. Coordenadas UTM Cantera Bolívar. Fuente: Levantamiento de Coordenadas realizado por el Instituto Autónomo Minas Bolívar (IAMIB)

Botalón	Norte	Este
A	894.059,67	453.931,72
B	894.105,27	453.567,49
C	894.220,92	453.207,61
D	892.148,66	453.017,61
E	892.148,66	453.627,04

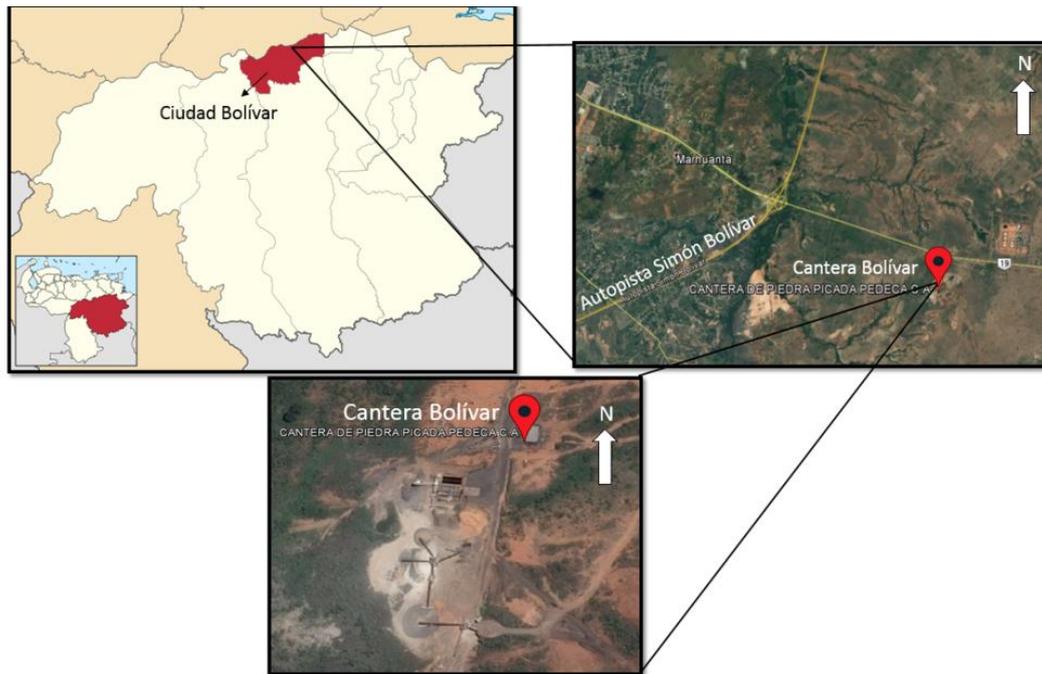


Figura 2.1. Ubicación geográfica de la zona de estudio. Fuente: Google Earth.

2.2.2. Generalidades de la empresa

Constructora PEDECA, C.A., fundada un 20 de julio del año 1955, es una empresa que ha consolidado su presencia en el mercado venezolano, siendo responsable de un gran número de obras y proyectos en el país, así como en Colombia y Perú.

En la actualidad la empresa mantiene presencia en las actividades de producción de agregados en nuestras canteras y saques de río para la industria de la construcción, mezcla asfáltica, agregado para el concreto, carbonatos para fundición por *Siderúrgica del Orinoco* (SIDOR), balasto para obras férreas, y otras industrias que requieren de materiales pétreos para sus actividades.

Cuenta con plantas procesadoras de materia prima (roca caliza, metagabro, charnockita), que generan productos y subproductos en sus diferentes tamaños, que son entregados al mercado nacional a través de:

- Siete (7) Canteras: Cantera Clarines (Anzoátegui), Cantera Bolívar y Cantera Villa Lola (Bolívar), Cantera El Turpial (Miranda), Cantera Urama y Cantera Miranda (Carabobo), Cantera Naricual (Anzoátegui)
- Seis (6) Plantas de Premezclados Morro Mix: Oriente (Barcelona), Guayana (Bolívar), Higuerote y Del Este (Miranda), Amerven (Lara), Coro (Falcón)
- Veintidós (22) Saques de Río, distribuidos en los Estados Anzoátegui (2), Falcón (4), Guárico (7), Lara (3), Miranda (1), Monagas (1), Portuguesa (1), Trujillo (1), Yaracuy (1), Zulia (2)

2.2.2.1. Misión

Es una empresa de excelencia dedicada a la explotación en canteras de agregados para la fabricación de mezclas y carpetas asfálticas, productos para concretos y fundición, agregados para construcción con 62 años en el mercado nacional, trabaja bajo los estándares de calidad, siguiendo las normas constructivas y dirigidos a minimizar el impacto sobre el medio ambiente.

2.2.2.2. Visión

Está enfocada en garantizar productos y servicios, por medio de controles de calidad en obra y producción, para lo que cuenta con un equipo de profesionales con amplia experiencia en el mercado enfocados en cumplir con los estándares de seguridad en las explotaciones, control y monitoreo de los procesos productivos en cantera y plantas de asfalto, comprometidos con el desarrollo de la nación.

2.2.2.3. Proceso productivo de la cantera

El proceso productivo de Cantera Bolívar consta de una primera etapa de arranque donde se realiza la perforación y voladura, para así lograr la fragmentación del macizo rocoso y poder ser cargado y transportado hasta la planta de tratamiento del mineral (Figura 2.2), este material es vaciado desde la caja del camión roquero a la tolva de descarga, con capacidad de manejo de 500 tn/hr, una vez en el proceso, el material es llevado mediante el alimentador de orugas, también conocido como dosificador de rodillos, al proceso de cribado primario. Dentro de todo proceso, existe el material de rechazo, que consiste en material contaminado con arena que es sacado del proceso a través de una correa transportadora que bota este material lejos de todo el sistema con un recorrido aproximado de 100 metros, el resto del material con tamaños comprendidos entre 250 a 1.400 milímetros (mm), cae en la trituradora primaria, con capacidad de procesar 1.200 m³/día de roca con un rendimiento de hasta un 85%, lo que representa unos 1.020 m³/día, una vez fuera de este proceso el material pasa por un sistema de cribas que clasifican el material, siendo este luego sacado del sistema y

llevado a la pila de material como un sub-producto denominado piedra picada de tamaño hasta 350 mm. El material que pasa la criba primaria de barras, de tamaño hasta 250 mm, cae sobre la cinta transportadora # 01, y es llevado al patio de apilamiento, el remanente de la roca fraccionada pasa a la correa transportadora TT1600, que lo volca al primer cono triturador con capacidad de 400 m³/día, una vez procesado el material, pasa a un pulmón provisto de cuatro alimentadores vibratorios electromagnéticos, con una capacidad total de descarga de material de 800 tn/día. La última etapa consta de la venta del producto

El material rechazado en la criba pasa a un segundo triturador y vuelve a caer a la criba en circuito cerrado. La roca que va a la planta de arena cae a un pulmón alimentador de donde pasa un molino de barras. La piedra triturada en el molino de barras pasa a una criba de dos pisos donde se seleccionan tres tamaños de arena (gruesa, media y fina), el rechazo vuelve al molino triturador. El proceso continua con los alimentadores que depositan la piedra sobre una cinta transportadora (# 02), que lo traslada a la trituradora de cono, la piedra luego de ser procesada sale en tamaños hasta 75 mm y cae en otra cinta transportadora que lo deposita en una Trituradora Terciaria de Cono Stock o pulmón de 150 m³/hr de capacidad. Este cono, está provisto de dos alimentadores vibratorios electromagnéticos de 800 t/seg, que depositan la piedra de tamaños hasta 75 mm sobre una correa que traslada el material a una criba de tres mallas, donde es seleccionado en tres (03) tamaños de piedra:

- Piedra de tamaño hasta 15 mm
- Piedra de tamaño entre 15 a 20 mm, y
- Piedra de tamaño entre 20 a 50 mm

La roca de mayor tamaño es rechazada en la criba y llevada a una trituradora de cono, que lo reduce a un tamaño hasta 25 mm y 30 mm. Todo el material va a una cinta transportadora TT800 (doble) que lo lleva a dos cribas de dos mallas, la piedra sobre la medida mayor a 50 mm retorna al proceso mediante una cinta transportadora y es repasado en el proceso de la trituradora de cono; en las dos cribas el producto es seleccionado finalmente en piedra con tamaños de 25 a 30 mm y de 30 a 50 mm (Piedra N° 1 y Piedra N° 2), que va al patio de almacenamiento, donde es apilado, listo para ser despachado. La piedra que pasa por el proceso comprendida hasta 25mm y 30mm, es transportado por una correa TT800 y es llevado a una criba de dos mallas, de la primera malla, se separan materiales comprendidos hasta 14 a 25mm a 7mm, y en la segunda malla los comprendidos hasta 9 mm, 9 a 17 mm y 17 a 30 mm. (Polvillo y Arrocillo), que va al patio de almacenamiento, donde es apilado, listo para ser despachado. El producto obtenido es utilizado en el siguiente orden:

- 60% del Material hasta 350 mm, para suministro a la Planta de Asfalto.
- 40% del Material, Piedra N° 1, N° 2, Polvillo y Arrocillo; para el consumo del mercado local y regional de agregados para construcción y concreto.

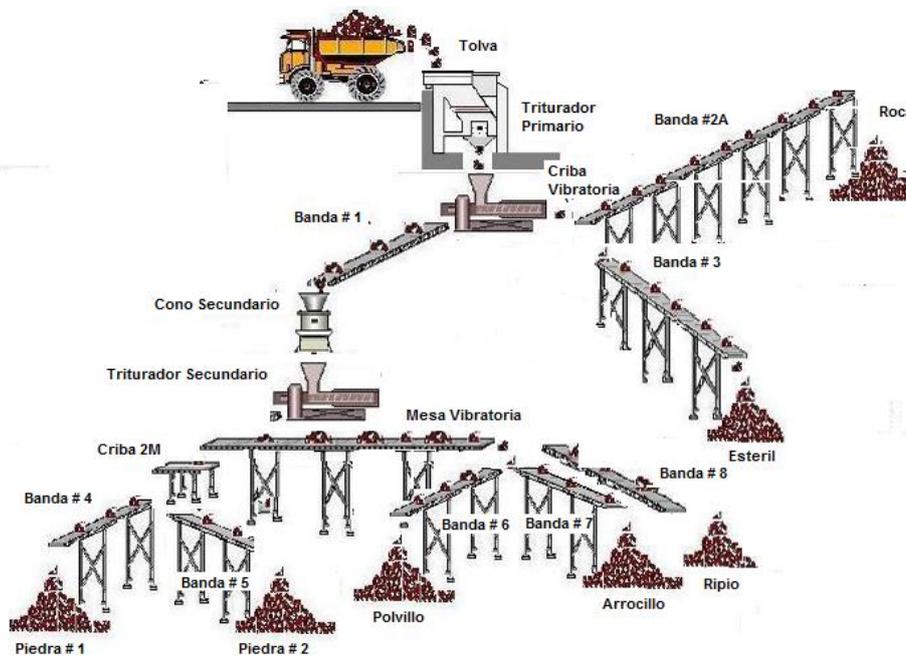


Figura 2.2. Diagrama de Procesamiento Mineral de la Planta

2.2.3. Aspectos físico-naturales

2.2.3.1. Vegetación

La vegetación es típica de la región guayanesa-amazónica donde se pueden contemplar morichales, chaparrales, así como especies de árboles como el carob, la sarrapia, el merecure, entre otros.

2.2.3.2. Fauna

La fauna típica está representada por el chigüire o capibara, el cocodrilo del Orinoco, el morrocoy, garzas, loros y cacatúas, las lapas, iguanas, entre otros. Un alto porcentaje corresponde a especies fluviales como el delfín del Orinoco y peces: curbinata, el dorado, lau-lau, el morocoto, la palometa y la sapoara.

2.2.3.3. Clima

La temperatura media varía entre los 26 y los 30°C. La variedad climática es representada por las temporadas de lluvia y sequía, presentando en altas y variadas formas, como la gran cantidad de lluvias por las altas temperaturas que causan una fuerte evaporación, arribando a unos 1022 mm anuales que favorecen la presencia de

ríos de gran caudal como el Orinoco y el Caroní y otros ríos menores como: El Orocopiche, La Marcela, La Candelaria, entre otro.

2.2.3.4. Precipitación

La época de lluvia en esta área consta de un periodo de 6 meses desde mayo hasta octubre, siendo julio el mes más lluvioso y el resto del año es un periodo de sequía, para un valor anual de 844,9 mm.

2.2.3.5. Evaporación

Debido a la gran intensidad de radiación solar que se recibe durante todo el año da lugar a una tasa de alta evaporación, especialmente en la época de pleno verano e inicio de lluvia con valores que se encuentran entre 100 y 160 mm, alcanzando sus valores más altos en el mes de abril y para los meses junio y julio promediando los valores más bajos llegando a 78 mm. Martínez Ferla y Pérez Eneida, (2007) en María E., Macabril G., y Aura M. Serrano B., (2010).

2.2.4. Geología regional

El área en estudio se localiza dentro del Escudo de Guayana (figura 2.3). Que se localiza al sur del Río Orinoco y ocupa aproximadamente el 50% de la superficie de Venezuela, con rocas tan antiguas como 3,41 Ga (granulitas y charnockitas del Complejo de Imataca) y tan jóvenes como 0,71 Ga (kimberlitas eclogíticas de Guaniamo), que registran en buena parte una evolución geotectónica similar a la de otros escudos precámbricos en el mundo (Mendoza, 2000). En particular, el Escudo de Guayana, que se compone en las provincias geológicas de Imataca, Pastora, Cuchivero y Roraima, forma parte del Cratón Amazónico del Precámbrico de Sur América, que se extiende por el Norte de Brasil, las Guayanas, remanentes precámbricos de Colombia y de Bolivia y estaba unido a África Occidental hasta la ruptura de la Pangea, hace unos 200 Ma. Específicamente, el área de estudio, se encuentra dentro del complejo Imataca (Precámbrico) y la Formación Mesa (Plioceno-Pleistoceno).

- **Complejo Imataca.**

La Provincia de Imataca, según la define Menéndez (1968), está situada en el extremo Norte de la Guayana Venezolana y ocupa una estrecha franja entre el río Caura al Oeste y el Estado Delta Amacuro al Este. Mendoza (1973, 1977), le asigna el nombre de provincia Estructural Bolívar, la cual comprende el Complejo de Imataca (Chase, 1965), que se caracteriza por la presencia de Gneises, Anfibolitas, Itabiritas o Cuarcitas Ferruginosas y Granitos intrusivos; de arreglo estructural complejo, pero

preferentemente de orientación estructural N80°E. El grado de metamorfismo alcanzado es el de las granulitas piroxénicas.

En la Provincia de Imataca afloran el complejo de Imataca, la Migmatita de la Ceiba e intrusivos jóvenes. Estas rocas se hallan intensamente plegadas, metamorfizadas regionalmente a la facies de la anfibolita y la granulita; contienen abundante gneis granítico y se destacan especialmente por su contenido de hierro, cuarcitas ferruginosas, que son capas meta sedimentarias que han sufrido recristalización metamórfica considerable, y en algunos lugares están muy enriquecidas al punto de constituir menas de hierro de alto tenor.

El tipo litológico principal en el Complejo de Imataca es un paragneis feldespático blanco, gris a rosáceo, con tamaño de granos, textura y detalles mineralógicos variables. En muchos lugares donde contiene adiciones migmatíticas, la roca es de grano medio y de textura algo granítica, pero corrientemente presenta un alto contenido de biotita. La litología característica del Complejo de Imataca es gneises félsicos y máficos intercalados con capas de cuarcitas ferruginosas, granulitas y cuerpos delgados interestratificados con rocas graníticas.

Las edades más antiguas detectadas en las rocas de la Provincia de Imataca alcanzan valores entre 3.500 – 3.600 m.a., que corresponden a la edad del Protolito, o sea, a las rocas originales previas al metamorfismo (Montgomery et al., 1977). Estas rocas han sido plegadas e inyectadas por materiales graníticos y parcialmente asimiladas, migmatizadas durante el evento tectotermal de alrededor de 2.800 m.a., y posteriormente afectadas por la Orogénesis Transamazónica de alrededor de 2.100 m.a., durante la cual se produjeron intrusiones graníticas (Hurley et al., 1976). La idea más común considera el Complejo de Imataca como un conjunto original de rocas silíceas de composición calco-alcalinas, con algunos episodios máficos y asociaciones menores de sedimentos e Itabiritas o formaciones de hierro.

Las rocas del Complejo de Imataca se extienden como una gran faja de rumbo NE, con una longitud entre 65 a 70 km; las alineaciones (fallas, ejes de pliegues, diaclasas, etc.), presentan una dirección preferencial NE y en menor grado NW.

- **Formación Mesa.**

En los límites norte y sur de la Mesa de Guanipa (GONZÁLEZ DE JUANA, 1946), la Formación Mesa consiste de arenas de grano grueso y gravas, con cemento ferruginoso cementadas y muy duras; conglomerado rojo a casi negro, arenas blanco-amarillentas, rojo y púrpura, con estratificación cruzada; además contiene lentes discontinuos de arcilla fina arenosa y lentes de limolita. En la Mesa de Tonoro se

observan capas lenticulares de conglomerado, arenas, y algunas arcillas. Al noroeste de Santa Rosa existe una capa lenticular de conglomerado, de más de 25 m de espesor, con delgadas intercalaciones de arenas.

En Santa Bárbara de Maturín, la parte superior (76 m) consiste en gravas con intercalaciones de arenas y arcilla roja y amarillo intenso: la parte inferior (60 m) formada por clásticos finos (arenas gris y blanco, intercaladas con arenas arcillosas y arcillas gris abigarradas). Al suroeste de Maturín, la Formación Mesa está compuesta por arcillas moteadas y abigarradas, con nódulos sin arena. En los llanos centro-orientales, la formación, está constituida por arenas no compactadas. Los sedimentos de la Formación Mesa, gradan de norte a sur, de más gruesos a más finos al alejarse de las cadenas montañosas del norte; desde la parte central de Monagas al macizo de Guyana, gradan de más finos a más gruesos.

En la sección de río Cristalino, río La Palencia, río del Medio, Caripito y Las Parcelas, la formación está constituida por conglomerados con elementos líticos redondos, tipo pudinga, de tamaño grande, aproximadamente 0.15 metros de diámetro, en una matriz arcillo-arenosa de color gris claro a amarillo (FURRER & CASTRO, 1997, comentarios enviados al CIEN).

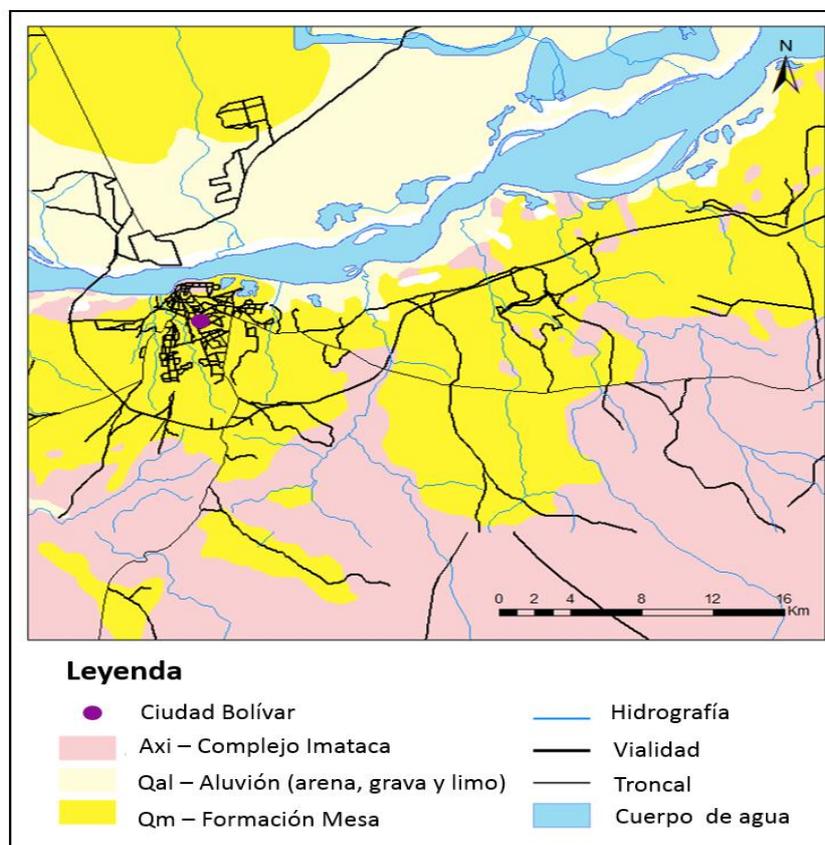


Figura 2.3. Mapa geológico. Fuente: Escuela de Geología, Minas y Geofísica, UCV y la Fundación Venezolana De Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), Carcas, Venezuela.

2.2.5 Geología local

Litológicamente la geología de la zona está formada por gneises graníticos y granulitas félsicas (60% - 75%), anfibolitas y granulitas máficas, y hasta ultramáficas (15% - 20%), y cantidades menores complementarias de formaciones bandeadas de hierro, dolomitas, charnockitas, anortositas y granitos intrusivos más jóvenes y remanentes erosionales menos metamorfizados y más jóvenes.

Ascanio (1975) postuló que parte, al menos, del Complejo de Imataca está formado por varias fajas tectónicas que representan microcontinentes que por deriva chocaron unos con otros con obducción y subducción, quedando separados entre sí por grandes corrimientos. Ascanio denominó a estas fajas como de La Encrucijada, Ciudad Bolívar, Santa Rosa, La Naranjita, La Ceiba y Laja Negra. Rodríguez (1997) destacó los tipos de rocas graníticas, charnockíticas y migmatíticas asociadas a cada una de estas fajas tectónicas y su importancia en usos ornamentales e industriales.

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Planificación minera

Rubio (2006), define la Planificación Minera como el proceso de Ingeniería de Minas que transforma el recurso mineral en el mejor negocio productivo, alineado con los objetivos estratégicos de la corporación, sean estos maximizar el valor presente neto, el volumen total de reserva, maximizar el tiempo de explotación, minimizar el riesgo de la inversión, entre otras. Newman (2010) afirma que es posible separar en niveles el proceso de planificación de acuerdo a las características de las decisiones tomadas las cuales son:

- **Estratégicas:** Se refieren a la elección de los métodos de explotación, capacidad de la mina, procesamiento en general y las estimaciones de reservas mineras. El principal objetivo de la planificación estratégica es sincronizar el mercado con los recursos disponibles y la misión de la empresa.
- **Tácticas:** Corresponden a la especificación de los procesos a realizar a lo largo de la vida de la mina, como los programas de producción de largo plazo y los modelos de programación para la utilización de equipos y plantas de procesamiento. La planificación táctica o conceptual determina la forma de alcanzar el objetivo establecido previamente por la planificación estratégica. Su resultado es el plan que define el cómo y el cuándo se extraerán los recursos, estableciendo los recursos humanos y materiales a utilizar.
- **Operativas:** Se realizan con frecuencia diaria, por ejemplo, dirección de despacho de un camión. Dentro de la planificación operativa se incluyen los procesos e

índices operativos resultantes del plan de mina. Es aquí cuando se produce la retroalimentación con la planificación conceptual.

Finalmente, en función del nivel de precisión de los datos y de la escala espacial de los períodos de duración del plan de mina, este se descompone en diferentes etapas de planificación minera, las cuales constituyen una herramienta para tratar la incertidumbre dentro del proceso minero. Estas son:

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

2.3.2. Método de los perfiles

(Bustillo Revuelta, y otros, 1997), explica que este método es, junto con el de los polígonos, uno de los más utilizados dentro del grupo de los métodos clásicos. Suele ser aplicable a cuerpos mineralizados más o menos irregulares que han sido investigados con sondeos cuyas direcciones permiten establecer cortes, perfiles o secciones (Figura 2.4). Esta necesidad de la presencia de sondeos en direcciones determinadas es, a la vez, una de las restricciones del método, pues la citada direccionalidad, por diversas razones, no siempre se consigue. La distancia entre cortes nos va a definir la exactitud del cálculo, pues secciones muy separadas pueden generar importantes errores debido a la existencia de cambios en la mineralización no controlados por los sucesivos perfiles.

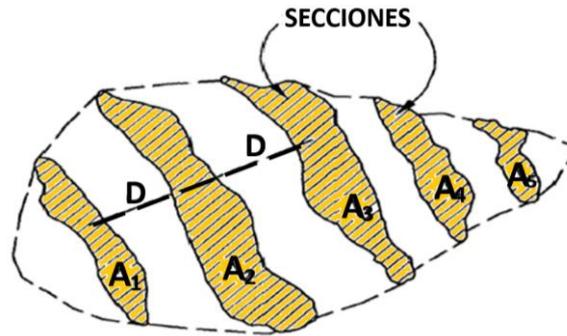


Figura 2.4. Métodos de los perfiles. Fuente: (Bustillo Revuelta, y otros, 1997).

2.3.3. Parámetros geométricos del diseño minero

- **Banco:** Es el módulo, terraza o escalón comprendido entre dos niveles que constituyen la fosa de explotación, de estéril o mineral, y que es objeto de excavación desde un punto del espacio hasta una posición final preestablecida.
- **Altura del banco:** Es la distancia vertical entre dos niveles o desde el pie del banco hasta la parte más alta o tope del mismo.
- **Ángulo del banco:** Es el ángulo determinado por los pies de los bancos entre los cuales se encuentran algunos de frentes o plataformas de trabajo. Es una pendiente provisional de la excavación.
- **Vías:** Son estructuras viarias dentro de una explotación, 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, fundamentalmente, por su anchura y su pendiente dentro de una disposición espacial definida.
- **Rampas de acceso:** Caminos de uso esporádico que se utilizan para el acceso de los equipos, generalmente de arranque, a los frentes de trabajo. Las anchuras son pequeñas y, al ser vías de un solo carril, las pendientes no sobrepasan de 12%.
- **Límites finales de la fosa:** Son aquellas situaciones espaciales hasta las que llegan las excavaciones. El límite horizontal determina el fondo final de la explotación y los límites laterales, los taludes finales de la misma. Los límites en profundidad de una mina a cielo abierto están condicionados, fundamentalmente por la geología del yacimiento y por aspectos económicos derivados de los costes de extracción del estéril para un determinado valor del mineral explotado. La definición de tales límites se ve también influida por motivos de estabilidad de taludes, por las características geomecánicas del macizo rocoso y los esfuerzos producidos en las rocas al crear vacíos e, incluso por las dimensiones mínimas del espacio de trabajo que es necesario para los equipos.
- **Bermas:** Son aquellos niveles existentes en los límites de la explotación sobre los taludes finales, que contribuyen a mejorar la estabilidad de un talud y las

condiciones de seguridad. El intervalo de las bermas y su anchura, así como el ángulo de talud, se establecen por condicionante operativas si se utilizan como pistas de transporte.

- **Ángulo final de explotación:** Es el ángulo del talud estable delimitado por la horizontal y la línea que une el pie del banco y el tope del superior.

2.3.4. Pistas y rampas

Las pistas son definidas por (Bustillo Revuelta, y otros, 1997), como los caminos por los cuales se realiza el transporte habitual de materiales dentro de la explotación, es decir, por los que circulan las unidades de acarreo. También existen rampas que se utilizan exclusivamente como acceso a los tajos de las maquinas que realizan el arranque y su servicio esporádico.

Ambas tienen distintos tratamiento y diseño, pues mientras que por las primeras la circulación puede ser continua en los dos sentidos y a marcha rápida, la utilización de las segundas es mínima y a velocidad mucho más lenta. En estas últimas, la pendiente debe recomendarse por razones de seguridad pues, aunque la lubricación de los mecanismos de las maquinas que van a circular por ellas permitan fuertes inclinaciones, en ningún caso debe sobrepasarse el 20%, sobre todo teniendo en cuenta que, en ocasiones, también circularan por ellas vehículos de mantenimiento y reparación. Con relación a su anchura, esta debe superar, por lo menos, en dos metros el ancho de la vía de la unidad más ancha que vaya a circular por ellas.

Respecto a las pistas y rampas de transporte, en su diseño hay que considerar, en relación con las unidades de transporte que se utilicen, una serie de parámetros que, sin perder el ritmo de operación, las hagan seguras.

2.3.4.1. Ancho

El ancho de las pistas según (Bustillo Revuelta, y otros, 1997) es función de las dimensiones de los volquetes, de manera que sea suficiente para que la operación de transporte se lleve a cabo con continuidad y en condiciones de seguridad. En cuanto al número de carriles en que ha de subdividirse la anchura total, las pistas mineras son diseñadas, generalmente, con solo dos carriles, debido, por un lado, a la baja intensidad de tráfico y, por otro, a la escasa disponibilidad de espacio. Excepcionalmente, puede recurrirse a un solo carril con apartaderos. Sin embargo, los tramos exteriores de las pistas que conducen a los vertederos o a las machacadoras primarias suelen diseñarse con más de un carril en cada sentido.

2.3.4.2. Berma de seguridad

Estas consisten de un material en pila a los bordes de la vía de aproximadamente el 60 o 70% de la altura del caucho, y que actúa como soporte en el caso de volcamientos.

2.3.5. Estudio de mercado

(Gallino, y otros, 2002), el objetivo de este es determinar la demanda del bien a producir, el precio de venta, las características del producto y la estrategia comercial a seguir. Las dos primeras, en general, son no controlables por el proyecto, en cambio las últimas lo son.

Consiste en estudiar, a través de métodos cuantitativos y cualitativos, los distintos mercados: consumidor del bien a producir, proveedor de las materias primas e insumos, competidor (incluido sustitutos y bienes complementarios) y distribuidor de insumos y bienes a producir. Esto se realiza en etapas, analizando, respectivamente, las situaciones histórica, presente y proyectada.

El mercado consumidor está conformado tanto por los actuales consumidores como por los que potencialmente podrían incorporarse demandando los productos del proyecto o del mercado competidor. El estudio de este mercado es de vital importancia debido a que las variables del mismo tienen influencia directa sobre los ingresos del proyecto.

El mercado proveedor es el conjunto de empresas que en el futuro proporcionarán insumos al proyecto. Generalmente es compartido con la competencia. El análisis de los precios y las cantidades ofertadas por los proveedores se deben efectuar incluyendo la influencia del proyecto en funcionamiento, dado el impacto que en el equilibrio del mercado proveedor puede tener su tamaño. No se comportará de igual manera un mercado en el cual aumente la demanda de insumos en un 1% que aquel en la que aumente un 30%.

El mercado competidor está constituido por el conjunto de empresas que, en la actualidad, satisfacen total o parcialmente las necesidades de los potenciales consumidores. Dichas empresas rivalizarán con el proyecto para mantener o incrementar su participación en el mercado consumidor. El estudio de la competencia no sólo se limita a las empresas productoras del mismo bien, sino también de los productos sustitutos y de los bienes complementarios. Asimismo, se debe analizar la competencia potencial de nuevas empresas y/o proyectos. El ingreso de esta nueva pugna comercial está contenido por las barreras de entrada del negocio.

El mercado distribuidor está formado por aquellas empresas intermediarias que entregan los bienes de los productores a los consumidores. El impacto de este mercado sobre la rentabilidad de un proyecto puede ser muy importante en determinados casos.

2.3.6. Fracturamiento hidráulico

Valenzuela B., Carolina V., Galindo B. Luis A. (2011) Tal como se utiliza hoy en la industria de petróleo y gas fue desarrollado por primera vez en los Estados Unidos en 1948. Se utilizó por primera vez comercialmente en 1949, y debido a su éxito en el aumento de la producción de los pozos de petróleo fue rápidamente aprobado, y ahora es utilizado en miles de pozos petroleros y de gas al año.

Robles R. Pablo A. (2014) El fracturamiento hidráulico consiste en la inyección de un fluido fracturante, altamente viscoso, con el objeto de generar en ella canales de flujo (fracturas) en la formación y colocar un elemento de empaque (arena) que permita incrementar la conductividad de la formación y, por ende, el flujo de fluidos hacia el pozo. El fluido empleado recibe el nombre de fluido fracturante y el sólido es conocido como agente apuntalante.

El efecto de incremento de drenaje de fluidos decrece rápidamente con el tiempo. Esto se debe a que la fisura se cierra y el pozo vuelve a sus condiciones casi originales. Para evitar el cierre de la fractura, se utiliza la técnica de inyectar el fluido de fractura cargado de apuntalante (arena), el cual actúa como sostén de las paredes abiertas de la fractura en la formación.

La inyección continua de dicho fluido permite ampliar y extender la fractura, cuando se alcanza una amplitud deseada, se le agrega un apuntalante al fluido para que lo transporte y así evite el cierre de la fractura al término; una característica importante del agente apuntalante debe ser altamente permeable, (Figura 2.5).

2.3.7. Material apuntalante

Partículas de determinado tamaño mezcladas con fluido de fracturamiento para mantener las fracturas abiertas después de un tratamiento de fracturamiento hidráulico. Además de los granos de arena que aparecen naturalmente, también se pueden utilizar agentes de sostén o apuntalantes artificiales o de diseño especial, como arena cubierta con resina o materiales cerámicos de alta resistencia, como la bauxita sinterizada. Los materiales de los agentes de sostén o apuntalantes se clasifican cuidadosamente por su tamaño y esfericidad para brindar un conducto eficiente para la producción de fluido desde el yacimiento hasta el pozo (Schlumberger)

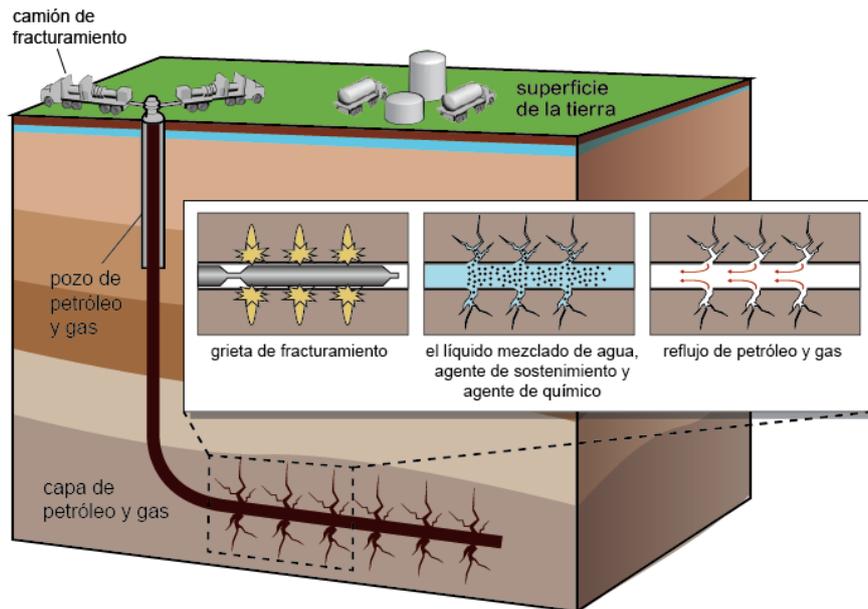


Figura 2.5. Fracturamiento hidráulico. Fuente: Noticia de Insturia (2015). Disponible en: http://es.wlproppant.com/html/view_24.html

2.3.7.1. Tipos de apuntalantes

- **Apuntalantes Naturales:** Principalmente se encuentran las arenas de sílice y soportan bajos esfuerzos de cierre de la fractura, hasta un límite de 4.000 psi.
- **Apuntalantes Sintéticos:** Este grupo se caracteriza por contener apuntalantes de gran resistencia a cierres de formación al cerrarse la fractura, en la actualidad se han desarrollado apuntalantes para resistir esfuerzos de cierre hasta 14.000 psi. Estos pueden ser recubiertos con capas de resina curable y reusable, según sea la necesidad.

2.3.8. Empaque de grava o frac pack

(Schlumberger), es un método de control de la producción de arena de formación. El empaque de grava coloca gránulos, o grava, alrededor de filtros (cedazo), dentro de los pozos abiertos o entubados con disparos. La “grava” es una arena natural redonda y limpia o material sintético lo suficientemente pequeño como para excluir los granos y algunas partículas finas de los fluidos producidos, pero lo suficientemente grande para mantenerse en su lugar mediante los filtros de grava.

Se bombea una lechada de fluido de transporte y grava en los disparos. La grava se deposita a medida que el fluido de transporte se pierda en las formaciones o circula de regreso a la superficie a través de los filtros de grava (Figura 2.6)

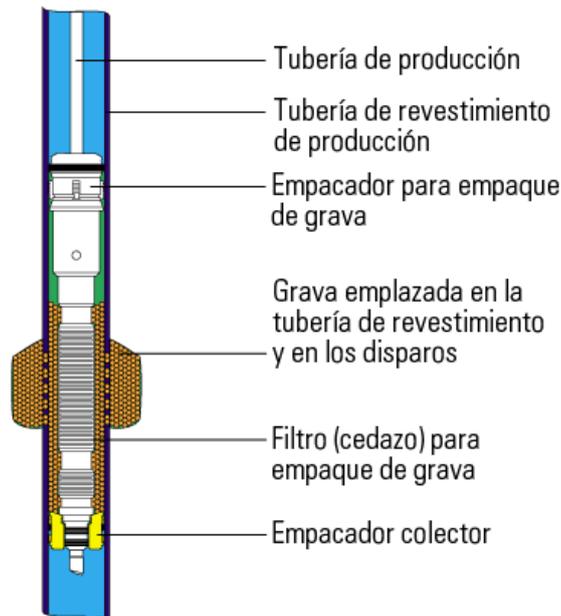


Figura 2.6. Empaquetamiento de grava

El control de la producción de arena, los disparos selectivos u orientados evita las zonas débiles y minimizan la producción de arena; la tubería de revestimiento cementada ofrece un positivo aislamiento de las formaciones. El empaque de grava en los pozos entubados permite el control de la producción de arena en formaciones laminadas, arenas de menor calidad o pozos verticales marginalmente económicos. El fracturamiento combinado con empaque de grava combina la estimulación y el control de la producción de arena en espesores apilados o yacimientos con granos bien clasificados y de baja transmisibilidad. En pozos abiertos, los tubos filtro controlan la arena en formaciones “limpias” con grandes granos bien clasificados y en pozos con corta vida productiva. Los empaques de grava o fracturas combinadas con empaques de grava mantienen la productividad o conductividad por más tiempo que los tubos filtro o formaciones “sucias” con granos pobremente clasificados, en pozos de alta tasa de producción con mayor transmisibilidad y grandes reservas, y en terminaciones en aguas profundas o submarinas de alto riesgo y alto costo.

2.3.9. Propiedades físicas y mecánicas de los apuntalantes

El material apuntalante debe tener ciertas propiedades físicas y mecánicas, principalmente una alta resistencia a los esfuerzos. También debe resistir a la corrosión, porque en ciertos ambientes hay H_2S o CO_2 en el fluido de producción, o a futuro se puede prever tratamientos ácidos, (Uriostegui Cobos, 2011), establece las siguientes propiedades

2.3.9.1. Forma

(Uriostegui Cobos, 2011). La redondez y esfericidad son propiedades importantes debido a que estos factores afectan la porosidad y el empacamiento del sustentante. La redondez del grano es una medida de la suavidad de las esquinas del grano, y la esfericidad de la partícula es una medida de que tanto se acerca la forma de una esfera. Después de que se aplica un esfuerzo y los granos comienzan a rotar, un empacamiento de granos con mayor redondez y esfericidad proporciona una mejora en la porosidad y en la permeabilidad comparada con agente sustentante sin estas características. También, en altos esfuerzos de cierre, las partículas más redondas hacen que el esfuerzo se reparta de manera más uniforme y se tenga un menor trituramiento.

El agente sustentante debe ser lo más redondo y esférico posible. Esta propiedad se mide a través de los factores de redondez y esfericidad, cuyos valores se asignan en las normas API, basándose en la comparación estadística de las partículas de sustentante con la gráfica propuesta por Krumbein. Los fabricantes de apuntalantes se refieren al factor de forma de Krumbein de redondez y esfericidad (Figura 2.7). Por ejemplo, los apuntalantes de cerámica ligera (LWC por sus siglas en inglés lightweight ceramic) tienen una redondez y esfericidad de 9.0, mientras que un agente sustentante de arena normalmente tiene un valor de 0.7.

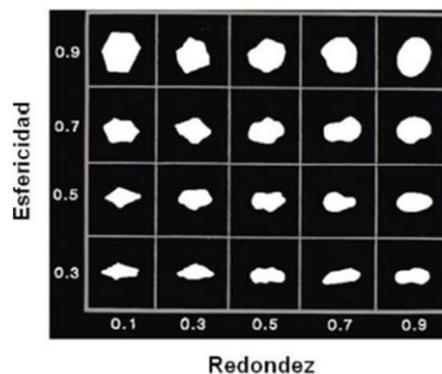


Figura 2.7. Gráfica de Krumbein para obtener los valores de redondez y esfericidad del apuntalante. Fuente: Uriostegui C. Víctor E. (2011) Fracturamiento hidráulico en yacimientos de alta permeabilidad. Universidad Nacional Autónoma de México.

2.3.9.2. Tamaño

(Uriostegui Cobos, 2011) El tamaño de la partícula tiene un impacto considerable en la permeabilidad del apuntalante. La siguiente figura muestra gráficas de conductividad para una variedad de tamaños de partículas de CarboLite y un apuntalante LWC de uso común. Normalmente un tamaño más grande de apuntalante proporciona una mayor permeabilidad pero solo cuando se tienen bajos esfuerzos de cierre. A medida que el

esfuerzo de cierre aumenta, el efecto del tamaño de la partícula en la conductividad se reduce debido al incremento del trituramiento de las partículas. En última instancia por encima de los 10.000 (psi), las partículas más pequeñas, como el apuntalante de tamaño 20/40 (la cual representa el rango entre la malla N°20 y la N°40) conservan una conductividad mayor que la que se observa en apuntalantes de tamaño 16/20 o 12/18.

Aunque un tamaño grande de apuntalante puede ofrecer una mayor conductividad, también requiere de una fractura más amplia para poder ser transportados eficientemente sin tener una condición denominada “bridge-out” o “puente” durante el tratamiento. Una condición bridge-out se produce cuando la limitación del ancho de fractura impide que el apuntalante pueda ser transportado dentro de la fractura. Esto ocurre frecuentemente cuando el tamaño de las partículas es más grande que la mitad del ancho de la fractura creada. Los problemas asociados con la restricción del ancho de la fractura son de menor importancia para la optimización de los tratamientos de frac-pack debido a que mediante el uso de la técnica del TSO en el diseño a una mayor presión neta se crean fracturas más anchas que las creadas en un tratamiento tradicional de fracturamiento.

2.3.9.3. Densidad

Se necesita que el agente sustentante tenga una densidad adecuada para poder ser transportado por el fluido a través de la fractura evitando su asentamiento prematuro. La porosidad permitirá optimizar la permeabilidad del canal conductivo creado.

Los agentes de sostén más resistentes y más densos, son más costosos. La tabla 2.2 muestra los valores de la densidad aparente y la densidad bulk de los apuntalantes estándar. La densidad bulk, describe la masa de apuntalante que ocupa una unidad de volumen, incluyendo los espacios vacíos entre el apuntalante. La densidad aparente de un solo grano, y a pesar de que incluye cualquier porosidad interna de la partícula de apuntalante, no incluye la porosidad entre los granos. Generalmente, la aparente se utiliza para estimar el tiempo de asentamiento del sustentante, mientras que la densidad bulk se utiliza para estimar los volúmenes de transporte y el volumen real obtenido de la fractura. Ambas propiedades se miden si tomar en cuenta el esfuerzo de cierre, por lo que la densidad bulk se incrementará sustancialmente si la aglomeración y el aplastamiento del material reducen la porosidad

Tabla 2.2. Comparación de densidades de apuntalantes comunes

Tipo	Densidad aparente (g/cm ³)	Densidad bulk (g/cm ³)	Densidad bulk (lbm/pie ³)
Arena	2,65	1,60	100

LWC	2,72	1,62	101
ISP	3,27	1,84	115
Bauxita	3,56	2,05	128

A pesar de que el apuntalante se compra en masa, su beneficio se basa en su volumen. Obviamente una fractura que contiene 100,000 (lbm) de arena va a ocupar más volumen que una fractura que contenga 100,000 (lbm) de bauxita. Para los diseños de TSO, la fractura puede ser llenada para conservar su ancho, independientemente del sustentante elegido. Sin embargo, en todos los tratamientos la densidad del material afectara significativamente el ancho de la fractura creada. Para una concentración dada de apuntalante dentro de la fractura, un sustentante más denso aportara una disminución proporcional en el ancho de la fractura apuntalada.

2.3.9.4. Resistencia a la trituración (tritabilidad)

(Chioli, y otros, 2014). El apuntalante debe ser lo suficientemente fuerte para evitar que la fractura se colapse, ya que este sería aplastado y la permeabilidad del canal conductivo se reduciría enormemente. Los tratamientos de fracturamiento en formaciones con grandes profundidades requieren que el apuntalante usado sea muy resistente.

2.3.10. Balasto ferroviario

Se denomina balasto al elemento de la superestructura de la vía que se coloca sobre la plataforma (plano de formación), para brindar apoyo al emparrillado formado por los durmientes y los rieles. Se trata en la generalidad de los casos de un material granular.

El balasto cumple varias funciones dentro de estructura de la vía (Oliveros Rives, y otros, 1977), entre las que se pueden citar:

- Repartir uniformemente sobre el plano de formación las cargas que recibe de los durmientes, de forma tal que la tensión admisible de la plataforma no sea superada.
- Estabilizar vertical, longitudinal y lateralmente la vía, con el fin de impedir desplazamientos.
- Amortiguar las acciones de los vehículos sobre la vía, gracias a su estructura pseudo-elástica.
- Proporcionar una rodadura suave a los vehículos y un notable confort a los viajeros.
- Proteger a la plataforma de las variaciones de humedad debidas al medio ambiente y a la acción de las heladas.
- Facilitar la evacuación de las aguas de lluvia.

- Permitir la recuperación de la calidad geométrica de la vía mediante operaciones de alineación y nivelación.

Para poder cumplir con las funciones referidas, los materiales utilizados como balasto deben poseer ciertos atributos (González Fernández, y otros, 2010).

- Elasticidad suficiente para absorber las acciones de los vehículos y repartir sus cargas.
- Suficiente resistencia para impedir los desplazamientos horizontales de la vía.
- Proporción de vacíos adecuada, sin afectar la elasticidad, para permitir evacuar eficazmente el agua de lluvia.
- Estabilidad física frente a la acción del agua y del hielo.
- Ser fácil la capacidad de consolidación bajo los durmientes, en forma mecánica, con el fin de permitir recuperar la calidad geométrica de la vía.

Estas características están vinculadas a:

- Naturaleza de la roca originaria
- Curva granulométrica
- Forma geométrica de las partículas
- Resistencia al choque
- Resistencia al desgaste
- Resistencia a la acción de las heladas
- Limpieza del balasto

2.3.10.1. Naturaleza

Para poder soportar elásticamente las cargas que el durmiente le transmite, el balasto necesita ser compactado mediante la acción de un mecanismo vibratorio, por lo tanto, el material debe resistir esta acción sin llegar a la ruptura, debiendo ser por esto un material duro.

Las distintas administraciones ferroviarias internacionales recomiendan utilizar rocas ígneas o metamórficas, tales como los granitos o cuarcitas, aunque estas últimas se utilizan en menor medida debido a su elevado costo.

En general, los áridos provenientes de rocas calcáreas o calizas son menos duras y presentan menor resistencia al desgaste que las procedentes de rocas ígneas o silíceas. Debido, en parte a estas propiedades, se trituran y tienden a ligarse y aglomerarse entre sí en presencia de agua, alterando las características elásticas que debe poseer la cama de balasto y las condiciones para permitir los trabajos de mantenimiento de la vía referidos a su nivelación y alineación (MIDEPLAN, 2003)

2.3.10.2. Curva granulométrica

La granulometría del balasto para uso ferroviario se determina de manera de obtener las mejores condiciones para: facilitar el bateo mecánico, producir un buen apoyo de los durmientes, obtener una cama de balasto elástica y asegurar la estabilidad horizontal de la vía. Las partículas muy grandes producen un mal apoyo de los durmientes, mientras que las partículas muy pequeñas hacen que el balasto pierda elasticidad y además se colmate fácilmente, perdiendo permeabilidad y capacidad de drenaje.

Los elementos de menor tamaño deben ocupar los vacíos existentes de manera tal que proporcionen una efectiva interacción entre partículas generando buena superficie de contacto, estabilizando la cama de balasto; no deben ser muy pequeñas porque actúan como lubricante.

Las investigaciones han puesto de manifiesto que el balasto más adecuado es aquel formado por piedra partida cuya relación de tamaños, entre el máximo y el mínimo, es aproximadamente igual a dos. Se ha determinado que, para facilitar el bateo y lograr que la cama de balasto sea estable, vertical y horizontalmente, el tamaño de la piedra debe estar comprendido entre 20 y 60 mm.

2.3. 10.3. Forma geométrica de las partículas

Diversos estudios han demostrado que la forma extremadamente plana tiene una desfavorable influencia en la deformación plástica del balasto, en relación con la forma cúbica (Oliveros Rives et al, 1977). Por otra parte, el carácter lajoso del balasto dificulta su compactación por los bates mecánicos. Por estos motivos es necesario que las partículas de balasto tengan una forma poliédrica con aristas vivas; de aquí la importancia de una buena trituración de la piedra.

2.3. 10.4. Resistencia al choque

La experiencia indica que el balasto debe tener una alta resistencia al choque, ya que está expuesto a este fenómeno por diversos motivos:

La circulación de los vehículos ferroviarios origina sobre la vía una onda de avance, con la cual se elevan los durmientes delante del vehículo. Este hecho determina el posterior descenso del durmiente, el cual golpea al balasto. Durante el proceso de compactación para mantener la nivelación también se golpea el balasto.

2.3. 10.5. Resistencia al desgaste

El roce al que está sometido el balasto, causa un desgaste que deteriora sus cualidades, redondeando sus formas geométricas. Particularmente, con el creciente

uso de pesados durmientes de hormigón, se observa una mayor abrasión que con el uso de durmientes de madera.

2.3. 10.6. Resistencia a la acción de las heladas

La resistencia del balasto a la acción de las heladas depende fundamentalmente de las características de las rocas y de su porosidad. En las rocas que presentan una absorción de agua superior al 1,5% de su peso, es de esperar una acción destructiva de la helada, por lo tanto se desaconseja su uso. En general las rocas de mayor dureza tienen menor coeficiente de absorción de agua y la acción destructiva de la helada es menos probable.

2.3. 10.7. Limpieza del balasto

La limpieza del balasto es fundamental para el drenaje correcto del agua. El balasto debe estar exento de polvo, sea procedente de la trituración de la piedra, sea consecuencia de la contaminación de los acopios por el viento o proceda de una maniobra defectuosa de carga que incorpore material del suelo.

2.4. Marco legal

A continuación, se presentan las distintas normativas venezolanas para el desarrollo sustentable de las actividades susceptibles a degradar el medio ambiente en sus componentes atmosféricos, hidrológicos y litosféricos.

- **Decreto 1257. Normas sobre evaluación ambiental en actividades susceptibles de degradar el ambiente.** Gaceta Oficial N° 35946, de 25 de abril de 1996, tiene por objeto establecer los procedimientos conforme a los cuales se realizará la evaluación ambiental de actividades susceptibles de degradar el ambiente. La evaluación ambiental se cumplirá como parte del proceso de toma de decisiones en la formulación de políticas, planes, programas y proyectos de desarrollo, a los fines de la incorporación de la variable ambiental en todas sus etapas.
- **Decreto 2219. Norma para regular la afectación de los recursos naturales renovables asociada a la exploración y extracción de minerales.** Publicado en Gaceta Oficial N° 4418 Extraordinario, de 27 de abril de 1992. La cual tiene por objeto establecer los requisitos para obtener autorizaciones y aprobaciones para la ocupación del territorio, y para la afectación de los recursos naturales renovables, así como lineamientos que permitan controlar las actividades de exploración y extracción de minerales metálicos y no metálicos a cielo abierto, a los fines de atenuar el impacto ambiental que puedan ocasionar tales actividades.

- **Decreto 883. Normas para la clasificación y el control de calidad de los cuerpos de agua y vertidos o afluentes líquidos.** Publicado en Gaceta Oficial N° 5021 Extraordinario, de 18 de diciembre de 1995. El cual establece las normas para el control de la calidad de los cuerpos de agua y de los vertidos líquidos. Clasifica las aguas según su uso, y a cada tipo se le asigna un rango permisible a parámetros como el oxígeno disuelto, pH, color real turbiedad, fluoruros, organismos coliformes total además de los elementos y compuestos. Establece la normativa para el vertido de líquidos según el tipo de actividad.
- **Decreto 2220. Normas para regular las actividades capaces de provocar cambios de flujo, obstrucción de cauces y problemas de sedimentación.** Publicado en Gaceta Oficial N° 4418 Extraordinario, de 27 de abril de 1992, esta normativa tiene por objeto controlar el desarrollo de actividades que por generar cambios en los sistemas de control de obras hidráulicas, obstrucción de cauces y escorrentías y producción artificial de sedimentos, son susceptibles de ocasionar daños tales como inundaciones, déficit en la distribución de aguas, inestabilidad de cauces y alteración de la calidad de las aguas.
- **Decreto 638. Normas sobre la calidad del aire y control de la contaminación atmosférica.** Publicado en Gaceta Oficial N° 4899 Extraordinario, de 19 de mayo de 1995. Este Decreto tiene por objeto establecer las normas para el mejoramiento de la calidad del aire y la prevención y control de la contaminación atmosférica producida por fuentes fijas y móviles capaces de generar emisiones gaseosas y partículas. Se establecen rangos permisibles según el tipo de contaminante atmosférico, se constituyen los distintos métodos de muestreo, períodos de medición y métodos analíticos a ser realizados.
- **Decreto 2217. Normas sobre el control de la contaminación generada por ruido.** Publicado en Gaceta Oficial N° 4418 Extraordinario, de 27 de abril de 1992, Tiene por objeto establecer las normas para el control de la contaminación producida por fuentes fijas o móviles generadoras de ruido.
- **Decreto 2216. Normas para el manejo de los desechos sólidos de origen doméstico, comercial, industrial o de cualquier otra naturaleza que no sean peligrosos.** Publicado en Gaceta Oficial N° 4418 Extraordinario, de 27 de abril de 1992, “Tiene por objeto regular las operaciones de manejo de los desechos sólidos de origen doméstico, comercial, industrial, o de cualquier otra naturaleza no peligrosa, con el fin de evitar riesgos a la salud y al ambiente.
- **Decreto 2635. Normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos.** Publicada en Gaceta Oficial Extraordinaria N° 5245, de 3 de agosto de 1998. El cual tiene por objeto regular

la recuperación de materiales y el manejo de desechos, cuando los mismos presenten características, composición o condiciones peligrosas representando una fuente de riesgo a la salud y al ambiente. Esta normativa va dirigida a toda persona natural o jurídica, pública o privada, que genere o maneje materiales peligrosos recuperables o desechos peligrosos que no sean radiactivos.

- **Decreto 2212. Normas sobre movimiento de tierra y consideración ambiental.** Publicado en Gaceta Oficial N° 35206, de 7 de mayo de 1993. Este Decreto tiene por objeto establecer las condiciones bajo las cuales se realizarán las actividades de deforestación, movimiento de tierra, estabilización de taludes, arborización de áreas verdes y todo lo relacionado con la protección de los suelos. Las presentes normas contienen indicaciones sobre los valores, límites y los criterios de aplicación de los mismos al aprovechamiento de terrenos que requieran alteración de la topografía a través de movimientos de tierra, mediante deforestación, remoción de la vegetación, excavación, nivelación y relleno.
- **Decreto 2226. Normas ambientales para la apertura de picas y construcción de vías de acceso.** Publicada en Gaceta Oficial N° 4418 Extraordinario, de 27 de abril de 1992, tiene por objeto establecer las medidas y prácticas conservacionistas que deben ejecutarse en las vías de acceso, para atenuar los efectos ambientales adversos que dichas obras pueden generar en su área de influencia.

Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN)

A continuación, se presentan las normas COVENIN, utilizadas para el desarrollo de las propuestas de las medidas preventivas, mitigantes y correctivas de los impactos ambientales y socioculturales generados por la explotación minera.

- **Norma COVENIN 1565:1995.** Ruido Ocupacional. Programa de Conservación Auditiva. Niveles Permisibles y Criterios de Evaluación.
- **Norma COVENIN 2253:2001.** Concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas en lugares de trabajo e índices biológicos de exposición”.
- **Norma COVENIN 2237-1989.** Ropa, Equipos y Dispositivos de Protección Personal. Selección de acuerdo al Riesgo Ocupacional.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se describen los métodos, técnicas y procedimientos empleados en la investigación.

3.1. Tipo de investigación

La siguiente investigación es de tipo descriptiva, según (Arias, 2004) explica que esta consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno o grupo con el fin de establecer su estructura o comportamiento, de esta forma se pretende caracterizar en el yacimiento de roca aflorante en el frente “Mina 2” de Cantera Bolívar, para determinar sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. De igual manera, otra clasificación otorgable es: correlacional, cuya finalidad de este tipo de investigación es determinar el grado de relación (no causal) existente en dos o más variables, en este caso se pretende comparar los resultados obtenidos por medio de los ensayos realizados, con las normas nacionales e internacionales pertinentes y de esta forma responder si cumple o no con dichas especificaciones. Por último, se tratará de un tipo de investigación de campo, porque será necesaria la recolección de datos experimentales incluyendo la toma de muestras e información de mercado; estos resultados son indispensables para llevar a cabo la caracterización y el desarrollo de la planificación del frente “Mina 2”.

3.2. Diseño de la investigación

La siguiente investigación tiene un diseño “experimental”, ya que se manipularán una o varias variables definidas por los ensayos necesarios para llevar a cabo la caracterización y los parámetros geométricos, operativos y de producción respectivos a la planificación. Con ello, se tratará de observar los fenómenos tal y como se dan en su contexto natural para luego ser analizados. La investigación por ser experimental, busca la comprobación de los efectos o la manipulación de la intervención sobre las variables independientes.

Para el desarrollo metodológico efectivo y organizado del proyecto, se proponen tres etapas. Una primera etapa consiste en la toma de muestras y caracterización del frente “Mina 2”. Seguidamente se cuenta con la segunda etapa, fundamentada por el sondeo del mercado. Por último, se tiene una tercera etapa que engloba: la cuantificación de los recursos aprovechables, la planificación del proceso de extracción del mineral y la descripción de los impactos ambientales (Figura 3.1).

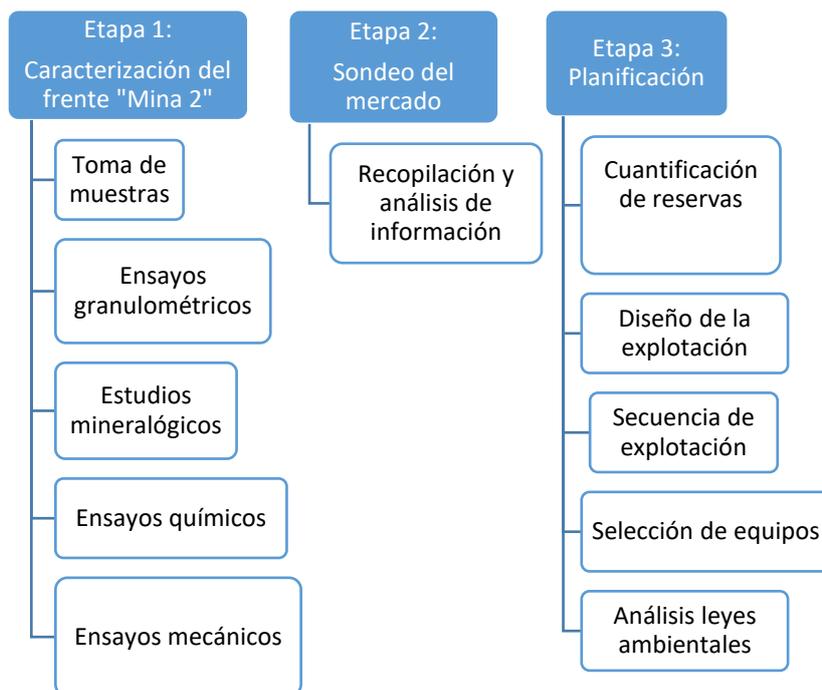


Figura 3.1. Metodología empleada

3.3. Población y muestra

La población está representada por el frente de explotación “Mina 2”, limitada por el área de explotación minera conocida como Cantera Bolívar y la muestra está conformada por los distintos sacos de la roca, con diferentes granulometrías para ser caracterizada con los respectivos ensayos de laboratorio.

3.4. Instrumentos de investigación

En este apartado se mencionarán los instrumentos: normas, software y equipos fundamentales en el desarrollo metodológico de la investigación.

3.4.1. Etapa 1: Caracterización del frente “Mina 2”

- **Software Google Earth:** herramienta que fue utilizada para la obtención de fotografías satelitales de la zona de estudio. Así como para señalar los puntos de adquisición de las muestras.
- **Norma ISO 13503-2:** en esta norma se encuentran todos los lineamientos a seguir para las distintas fases de la caracterización, específicamente para uso como arena apuntalante y grava para frac pack. Incluye la metodología de toma de muestras, donde especifica la cantidad de material y tamaños necesarios, al igual que todos los ensayos a los que debe ser sometido; mecánicos, granulométricos, químicos y mineralógicos.

- **Normas Instituto de Ferrocarriles del Estado (IFE):** incluye la familia de las distintas normas COVENIN y ASTM, donde se encuentran las metodologías y procedimientos pertinentes para determinar si un material puede ser usado o no como balasto.
- **Balanzas electrónicas:** las cuales fueron utilizadas para determinar el peso de las distintas muestras, antes y después de llevarse a cabo la distribución granulométrica y los demás ensayos (Figura 3.2).



Figura 3.2. Balanza ACS Scale (d=5g) y balanza Adventurer (d=0.0001g)

- **Batería de tamices:** usada para poder generar la distribución granulométrica del material y la realización de las curvas.
- **Mezclador:** donde se coloca la batería de tamices y esta es agitada por un período de tiempo determinado, para el asentamiento de las partículas de distintas granulometrías en las mallas correspondientes (Figura 3.3.).



Figura 3.3. Mezclador y batería de tamices

- **Software Grapher 11:** el cual facilita el análisis y procesamiento de los datos para la generación de curvas granulométricas y otros gráficos.

- **Hoja de cálculo:** herramienta de Microsoft Excel, que permite el manejo de datos, realizar tablas e introducir formulas.
- **Máquina de los Ángeles:** el equipo consta de un tambor montado en los extremos con ejes y rodamientos sobre una estructura metálica, la cual lo soporta para que este gire de acuerdo a lo programado con contador digital que activa o desactiva el motor para que el tambor en un determinado número de vueltas, según se requiera en la realización del ensayo (Figura 3.4).



Figura 3.4. Máquina de los Ángeles. Laboratorio de Mecánica de Rocas, U.C.V.

- **Turbidímetro:** es un medidor portátil con una pantalla que cumple todas las exigencias para medir la turbidez in situ. El rango de medición del turbidímetro es de 0 a 1000 FTU está seccionado en dos rangos automáticos para aumentar la precisión (Figura 3.5).



Figura 3.5. Turbidímetro. Laboratorio de Química Instrumental, U.C.V.

3.4.2. Etapa 2: Sondeo del mercado

- **Material documental:** conformado por libros e informes, cuya información fue esencial para la estructuración de los puntos a ser descritos en el sondeo de mercado, incluyendo datos de oferta y demanda de los distintos materiales.

3.4.3. Etapa 3: Planificación

- **Software minero especializado:** necesario para el análisis de los datos obtenidos en campo. Este incluye módulos para el cálculo de reservas, diseño de los patrones de perforación y voladura y el modelamiento topográfico 3D.
- **Software CivilCAD 3D:** el cual se usó para el cálculo de recursos minerales en la cantera, mediante el método de los perfiles.
- **Leyes ambientales:** decretos y normas pertenecientes a las leyes ambientales venezolanas, donde describen Medidas preventivas, mitigantes y correctivas de los impactos generados, específicamente por la actividad minera.

3.5. Análisis de datos

3.5.1. Etapa 1: Caracterización del frente “Mina 2”

3.5.1.1. Muestreo

Es un proceso fundamental que garantizará la obtención de muestras homogéneas, que deben ser representativas para el estudio y la estimación de las características de la población, en este caso se refiere al yacimiento. Como paso previo a la caracterización, se llevó a cabo un muestreo manual de forma dinámica (no estática) en Cantera Bolívar en dos puntos diferentes (Figura 3.6.). La selección del tamaño y zona de las muestras dependió de los ensayos que se le realizaron, sea para su uso como arena para apuntalante, grava para frac pack o balasto, porque para cada uno las especificaciones la preparación de la muestra varía.



Figura 3.6. Ubicación de los frentes de explotación de Cantera Bolívar.

- **Frente de explotación “Mina 2” (M1FE):** este es el frente que se encuentra más al norte de la concesión minera, se tomaron fragmentos de roca de 4 pulgadas aproximadamente, en dos sacos de 30 kg cada uno



Figura 3.7. Frente “Mina 2” (M1FE)

- **Pila de producción de arrocillo-polvillo (M2PM):** después de la trituración secundaria, se llenaron dos sacos de 30 kg cada uno con arrocillo-polvillo. Material de granulometría desde 3/8” hasta pasante de la malla #200, necesario para los ensayos de grava para frac pack y arena para apuntalante.

3.5.1.2. Preparación de la arena para apuntalante y grava para frac pack

Culminado el muestreo, se trasladaron los sacos con el material a la Facultad de Ingeniería U.C.V. para iniciar con el proceso de preparación de las muestras, el cual consistió de las siguientes actividades:

- **Estudio granulométrico**
- **Cuarteo y secado:** este proceso se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela de Ingeniería de Petróleo. Se tomaron los dos sacos de 30 kg de la muestra M2PM y se extendieron en una lona de plástico formando un cono. Seguidamente se efectuó el cuarteo manual, con el objetivo de reducir las muestras a 5 kg, y que las mismas fueran representativas y lo más homogéneas posible. Este procedimiento se realizó cuatro veces, obteniendo así las muestras 2427-1, 2427-2, 2427-3 y 2427-4, (Figura 3.8). Para el secado de las muestras se empleó un horno eléctrico durante un lapso de tiempo de 1 hora a una temperatura promedio de 120°C.



Figura 3.8. Cuarteo y pesado de la muestra 2427-1

a) **Tamizado y lavado del material:** luego del secado de las muestras, se procedió a realizar el estudio granulométrico en una batería de tamices estandarizados por la norma ASTM E-11-81, (cuyas aberturas se puede observar en la tabla 3.1) colocada en un tamizador ubicado en las instalaciones del laboratorio de mecánica de suelos de la Escuela de Ingeniería de Petróleo. Este proceso se realizó con 5 kg de cada una de las muestras 2427-1, 2427-2, 2427-3 y 2427-4, colocados en la base del equipo respectivamente. Se activa el sistema del tamizador que proporciona la acción simultánea de rotación y de golpes transversales a la columna, y el material se distribuye a través de los tamices. Los retenidos en cada malla fueron pesados individualmente en una balanza electrónica calibrada, marca ACS Scale, para así calcular el porcentaje pasante y realizar el posterior análisis granulométrico de cada muestra, Figura 3.9.

Tabla 3.1. Tabla de tamices ASTM

Tamiz N°	Tamiz (mm)
3/8"	9,510
1/4"	6,350
N° 4	4,760
N° 10	2,000
N°20	0,840
N° 30	0,595
N° 40	0,420
N° 50	0,297
N° 70	0,250
N° 80	0,180
N° 100	0,149
N°140	0,106
N° 200	0,074



Figura 3.9. Muestras tamizadas

- **Resistencia a los ácidos**

En este método se utiliza una solución 12:3 $HCl:HF$ (12% masa HCl y 3% masa HF). La solubilidad o resistencia a los ácidos es un indicador de la cantidad de material soluble (carbonatos, feldespatos, arcillas, etc.) presente en la muestra. Rigiéndose bajo los parámetros de la norma ISO 13503-2.

Se separan 15 g de cada muestra, con granulometría entre las mallas 20/40. De este peso inicial se toman 3 sub muestras de 5g cada una, y son secadas en un horno a $105^{\circ}C$ para eliminar la presencia de agua y así, obtener un peso constante (M_s). Ya a temperatura ambiente, se le agregan 50 ml de la solución ácida 12:3 ($HCl:HF$) y se deja reaccionando por 24 horas en un envase de plástico.

A continuación, se coloca en una hornilla a $66^{\circ}C$ por 30 minutos. Una vez culminado este tiempo, se prepara el equipo de filtración, que consiste en colocar un embudo con papel de filtro, y se agrega la mezcla ácida. Esta debe ser lavada al menos tres veces con agua destilada, Figura 3.10



Figura 3.10. Filtración de la mezcla

Finalmente, se seca el sólido retenido en el papel de filtro en el horno a 105°C por 1 hora. Se deja enfriar la muestra para poder ser pesada (M_f), y con estos valores se calcula mediante la siguiente ecuación (3.1), la solubilidad en ácido.

$$S = \frac{(M_s - M_f)}{M_s} \times 100 \quad (3.1)$$

- **Turbidez**

El propósito de este procedimiento es determinar la cantidad de partículas suspendidas u otra materia fina que contamina la muestra. Las pruebas de turbidez miden una propiedad óptica de una suspensión que resulta de la dispersión y absorción de la luz por la materia particulada en el fluido. Cuanto mayor sea el número de turbidez, significa que mayor cantidad de partículas en suspensión están presentes. Los resultados se expresan en FTU (Formazin Turbidity Unit / Unidades de Turbidez de Formazina) y/o NTU (Nephelometric Turbidity Unit / Unidades Nefelométricas de Turbidez).

Inicialmente fue necesario elaborar la curva de calibración, para ello se disuelve 1,0 g de sulfato de hidrazina en agua destilada y luego se diluye hasta alcanzar 100 ml. Por otra parte, se diluyen 10 g de Hexamine AR/ACS en agua destilada hasta llegar a 100 ml. De estas dos soluciones se transfieren 5,0 ml de cada una de ellas, a un balón de 100 ml y se deja reposar por 24 horas. Pasado el tiempo, se agrega con agua hasta los 100ml y luego se mezcla, (Figura 3.11). Esta solución tendrá una turbidez de 400 FTU y con este valor es creada la curva de calibración (Figura 3.12).

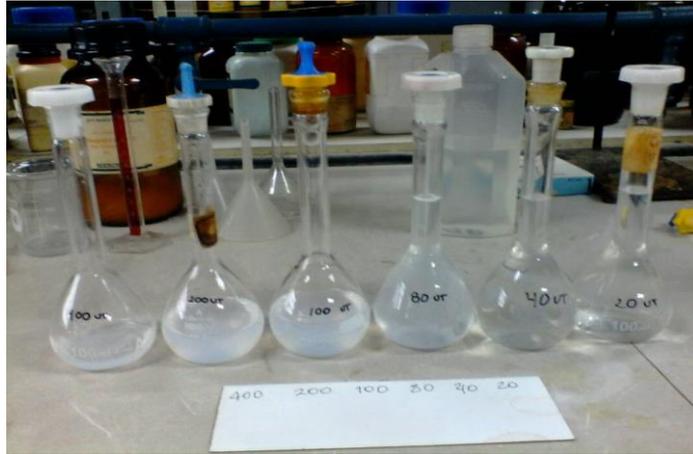


Figura 3.11. Soluciones en reposo

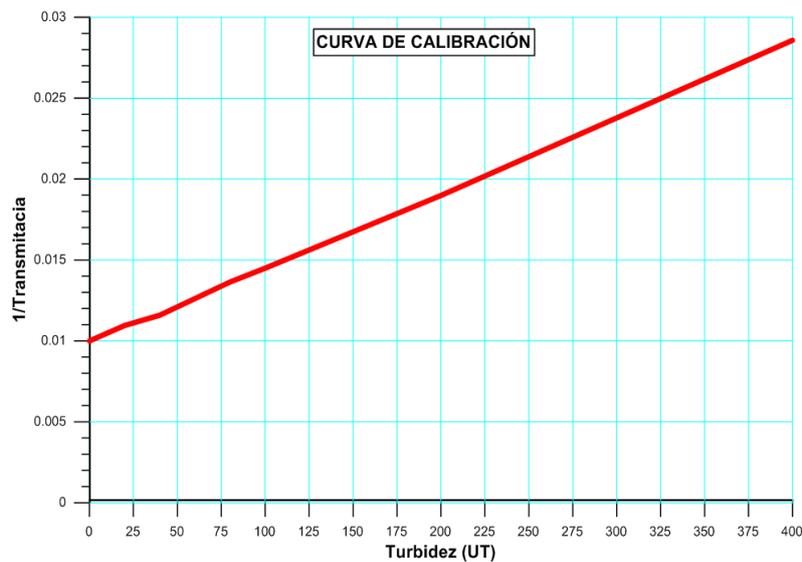


Figura 3.12. Curva de calibración

Para este ensayo, se tomaron cuatro muestras. Donde se colocaron 1,5 g del material en un matraz y se le agregaron 100ml de agua destilada. Se deja en el agitador orbital por 30 minutos a 140 rpm. Después de reposar, se extraen 25 ml de agua en el tope del matraz, se coloca en el turbidímetro para determinar la transmitancia de la muestra. Para determinar la turbidez, es necesario calcular el inverso del valor obtenido por el equipo.

- **Densidad Bulk y densidad aparente**

La densidad bulk se refiere a la masa del material que llena un volumen unitario, incluyendo los espacios vacíos. El procedimiento para la determinación de la densidad bulk está basado en la norma ANSI B74.4. En campo, se usa para determinar la masa de material necesario para llenar una fractura.

El ensayo se realizó para cuatro muestras de rango de granulometría 20/40, a una temperatura de 23°C. Inicialmente, se pesó un matraz de precisión vacío de 25 ml y a

continuación se le agrega la muestra hasta llenar por completo el volumen, Figura 3.13. Se pesa el matraz con el material en él, y luego se aplica la fórmula 3.2 para calcular la densidad bulk.



Figura 3.13. Procedimiento para determinar la densidad bulk

$$\rho_{bulk} = \frac{\text{Masa final}(g) - \text{Masa matraz}(g)}{\text{Volumen del matraz}(ml)} \quad (3.2)$$

La densidad aparente se mide con un fluido de baja viscosidad que moja la superficie de las partículas e incluye los poros. El líquido de prueba utilizado para este ensayo fue el Xileno Técnico por su baja viscosidad, de densidad 0,8606 g/ml (ρ_{xileno}), a una temperatura de 23°C.

El procedimiento consistió en determinar el peso de un picnómetro vacío (m_f) de 25ml, para seguidamente determinar la masa de la muestra (m_p), la masa del picnómetro y el Xileno técnico (m_{f+l}) y la masa de los dos anteriores incluyendo la muestra (m_{f+l+p}), Figura 3.14. La densidad aparente se calcula según la fórmula 3.3:

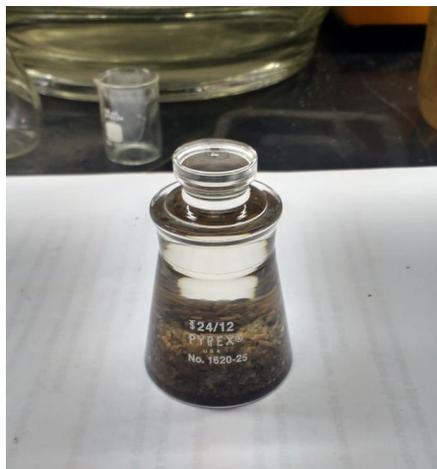


Figura 3.14. Picnómetro con la muestra y el xileno técnico

$$\rho_{aparente} = \frac{m_p * \rho_{xileno}}{m_{f+l} + m_p - m_{f+l+p}} \quad (3.3)$$

- **Triturabilidad**

Este ensayo se realiza con la finalidad de determinar la calidad de la muestra, mediante la evaluación de la cantidad porcentual de material residual triturado cuando es sometida a una presión de confinamiento. En este caso, se realizó para cuatro muestras de rango de tamizado 20/40, las cuales se colocaron en una celda para luego ejercerles diferentes cargas mediante una prensa hidráulica (Figura 3.15), una máxima de 34,5 MPa y una mínima de 13,8 MPa (tabla 3.2), en un período de tiempo de 2 minutos. El material al estar expuesto a altos esfuerzos de compresión, se produce la trituración o desgaste de los granos, generando partículas de menor tamaño. Este porcentaje de rotura corresponde a la cantidad de material fino que pasa por el tamiz 40 (ecuación 3.4). En campo, como el agente apuntalante estará sometido a presiones generadas en las fracturas, es importante que el mismo se desgaste o triture lo mínimo posible.

$$\%Triturabilidad = \frac{\text{Pasante tamiz 40 (g)}}{\text{Peso inicial de la muestra (g)}} \times 100 \quad (3.4)$$



Figura 3.15 Prensa hidráulica y muestra

El análisis de los resultados de las pruebas, proporciona indicaciones sobre el nivel de esfuerzo en el que la trituración del material es excesiva y el esfuerzo máximo a la que puede estar sometido el apuntalante.

Tabla 3.2. Esfuerzos máximos permisibles

Apuntalante	Nivel de esfuerzo MPa (psi)	
	Mínimo	Máximo
Apuntalantes sintéticos (fracturamiento)	34,5 (5.000)	103,4 (15.000)
Arenas apuntalantes (fracturamiento)	13,8 (2.000)	34,5 (5000)
Arenas apuntalantes (gravel-pack)	13,8 (2.000)	13,8 (2.000)

3.5.1.3. Preparación del balasto

Para el desarrollo de los ensayos para el balasto, se siguieron los parámetros que el mismo debe cumplir para poder ser utilizado por el Instituto Ferroviario del Estado (IFE).

- **Análisis granulométrico**

- Selección de muestras:** este proceso se realizó en las instalaciones del laboratorio de beneficio mineral ubicado en la escuela de ingeniería metalúrgica. Se tomaron los sacos de 30 kg de la muestra M1FE, se extendieron en una lona de plástico y se seleccionaron 3 muestras de 15 kg, de tamaños mayores a 3".



Figura 3.16. Selección de muestras

- Tamizado y lavado del material:** para llegar a los rangos requeridos por el IFE (ver tabla 3.3), fue necesario reducir de tamaño cada una de las muestras.

Tabla 3.3. Requerimientos de granulometría IFE

Tamaño Tamiz	% de masa que pasa por los tamices
	Carga liviana y pasajeros entre 80 y 250 kph
3"	100%
2 ½"	90-100%
2"	-
1 1/2"	25-60%
1"	-
¾"	0-10%
1/2"	0-5%
10 mm (3/8")	-

Este proceso se realizó para cada muestra en una trituradora de mandíbulas de marca Foote Bros Co. Ya obtenido el material triturado, se procedió a realizar el estudio granulométrico en una batería de tamices estandarizados por la norma ASTM E-11-81, colocada en un mezclador ubicado en las instalaciones del laboratorio de beneficio mineral, en la escuela de ingeniería metalúrgica. Los retenidos en cada malla fueron pesados individualmente en una balanza electrónica calibrada, marca ACS Scale, para así calcular el porcentaje pasante y realizar el posterior análisis granulométrico de cada muestra.

- **Resistencia máxima a la degradación (Ensayo Los Ángeles)**

Las especificaciones de este ensayo se encuentran en la norma ASTM C-131 y C-535. El ensayo es una medida del desgaste de los agregados minerales de graduaciones estándar, resultante de la combinación de acciones que incluyen abrasión, impacto y trituración en un tambor rotatorio de acero que contiene un número especificado de esferas de acero; el número de esferas depende de la gradación de la muestra (Tabla 3.4). Cuando el tambor rota, una pestaña recoge la muestra y las esferas de acero, arrastrándolas consigo hasta que ellas caen al lado opuesto del tambor, creando un efecto de impacto y trituración. El contenido es entonces arrastrado dentro del tambor con una acción abrasiva y trituradora hasta que golpea de nuevo la pestaña y el ciclo se repite. Después del número prescrito de revoluciones, el contenido es removido del tambor y la porción de agregado es tamizada para medir el desgaste como pérdida en porcentaje.

Tabla 3.4. Requerimientos Ensayo Los Ángeles

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

En este ensayo se usó la gradación tipo “A”, la cual representa las condiciones expuestas en la normativa. El procedimiento se realizó para 5000 ± 25 g (*Peso Inicial*) de muestra, con una carga de 12 esferas a 500 rpm. Concluidas las revoluciones, la porción de material desgastado o fino es pasado por un tamiz N° 12, y se reporta la masa del retenido como “*Peso Final*”. La resistencia máxima a la degradación viene dada por la siguiente fórmula 3.5:

$$\%Desgaste = \frac{Peso\ Inicial - Peso\ Final}{Peso\ Inicial} \times 100 \quad (3.5)$$

- **Ensayo de desgaste Micro Deval**

La norma que avala este ensayo es la ASTM D6928 – 03. Que describe la forma de medir la resistencia a la abrasión de una muestra de agregado grueso. La prueba de Micro Deval en agregados gruesos determina la pérdida por abrasión en presencia de agua y de una carga abrasiva. Muchos agregados son más débiles en estado húmedo que secos y el uso del agua en este ensayo mide esta reducción de resistencia en contraste con otros ensayos que se realizan con agregados secos solamente. Proporciona información útil para juzgar la resistencia desgaste/abrasión y durabilidad/solidez de agregados sujetos a abrasión y acción de desintegración con el medio ambiente cuando no existe información adecuada de este tipo de comportamiento.

Para este ensayo, se separaron tres muestras de 1,5 kg cada una (*Masa inicial*), con granulometrías entre 1" – ¾". Estas se colocaron en un molino cilíndrico de aproximadamente 5 litros de capacidad, en él se introdujo una carga abrasiva constituida por bolas esféricas de 9.5 ± 0.5 mm de diámetro, de acero inoxidable. El molino requiere una carga de 5000 ± 5 g de estas esferas para el agregado grueso y 2 litros de agua para saturar la muestra.

El molino se coloca en los rodillos y hace girar a 100 rpm por 2 horas. Terminado el tiempo de rotación, se vierte la muestra en los tamices iniciales y se desecha el material de granulometría menor a ¾" (Figura 3.17). Las muestras son secada en un horno a 110°C y luego pesadas (*Masa final*). Finalmente, se obtiene el % de pérdida mediante la siguiente ecuación 3.6:



Figura 3.17. Proceso del ensayo Micro Deval

$$\%Pérdida = \frac{Masa\ inicial\ (g) - Masa\ final\ (g)}{Masa\ inicial\ (g)} \times 100 \quad (3.6)$$

3.5.2. Etapa 2: Sondeo del mercado

Esta etapa fue netamente documental, donde se tomó como referencia el modelo de estudio de mercado propuesto por el profesor (Blanco R., 2013) en su libro. Posteriormente se divide la investigación en los siguientes puntos: análisis del entorno, descripción del producto, características y usos, demanda y oferta del producto, y mercado potencial. La realización de este estudio es de suma importancia porque sustenta económicamente el desarrollo de esta investigación, describiendo las características del mercado y por qué Cantera Bolívar debería invertir en el proyecto.

La adquisición de esta información estuvo sujeta al alto grado de confidencialidad de las empresas que manejan el mercado de estos productos. Sin embargo, para el caso de la arena apuntalante y grava para frac pack se contó con un informe suministrado por PDVSA que ayudó en la realización de una extrapolación respecto a la demanda nacional de estos materiales. Para el caso del balasto, se utilizaron informes del Instituto de Ferrocarriles del Estado (IFE) y reportes en línea.

3.5.3. Etapa 3: Planificación

3.5.3.1. Cálculo de recursos minerales (método de los perfiles)

Para ello se utilizó el software CivilCAD 3D, donde se aplicó el método de los perfiles, realizando un total de 22 perfiles con una separación de 20 m entre ellos, a lo largo del mapa topográfico proporcionado por la empresa. Luego con herramientas de medición, propias del programa, se calculó el área de cada perfil y luego se aplicó la fórmula 3.7, para obtener el volumen total de los recursos minerales de la cantera.

El método establece que cada bloque viene definido por una sección y la distancia media entre esa sección y los dos sucesivas, una a cada lado:

$$v = \frac{A1+A2}{2} * D \quad (3.7)$$

Dónde:

v : Volumen

A : Área

D : Distancia entre cada perfil

Para los bloques finales, se utiliza la siguiente ecuación 3.8:

$$v = \frac{(A*d)}{2} \quad (3.8)$$

3.5.3.2. *Parámetros geométricos*

- **Altura de banco:** fue escogido de forma que ofrezca las mejores condiciones de trabajo y de seguridad.
- **Ángulo de talud de trabajo:** según lo establecido en el estudio geológico-geotécnico de la cantera.
- **Ancho mínimo operativo:** Este parámetro se definió a partir de la suma de los espacios necesarios para la movilidad de la maquinaria que trabaja en el frente de explotación.
- **Ángulo de banco final:** para el cual se utilizaron las siguientes ecuaciones

$$\theta = \arctg\left(\frac{H}{B+X}\right) \quad (3.9)$$

$$X = \frac{10}{tg(\theta)} \quad (3.10)$$

$$B = 4.5 * 0.2 * (H) \quad (3.11)$$

Dónde:

H : Altura de banco

α : Ángulo de banco final

θ : Ángulo de trabajo

B : Ancho de berma

- **Estudio geotécnico:** este fue realizado por la empresa PEDECA C.A. y recopilado para esta investigación.
- **Vías y rampas de acceso:** El ancho de estas rutas fue estimada según las dimensiones de los equipos seleccionados para la operación de acarreo disponibles en la cantera y sus respectivas distancias de seguridad.

3.5.3.3. *Selección de equipos*

Parte de la eficiencia del desarrollo minero depende fundamentalmente de los equipos seleccionados, siendo imprescindible la identificación del tipo de sistema de explotación en cada caso. En Cantera Bolívar se trabaja con un sistema discontinuo, por ello es necesario tomar en consideración los criterios pertinentes para elegir los equipos de carga y acarreo para suplir la producción estimada.

- **Requerimiento de producción horaria:** establece la cantidad de material que debe ser producido por hora, considerando los días de trabajo, las horas turno y la eficiencia, ecuación 3.12:

$$Producción\ horaria\ \left(\frac{tn}{h}\right) = \frac{Producción\ anual\ (tn)}{Días\ trabajados * horas\ turno * Eficiencia} \quad (3.12)$$

- **Tiempo de ciclo:** representa cuánto tarda un camión en recorrer la distancia desde el frente a la tolva de alimentación, ecuación 3.13:

$$Tiempo = \frac{Distancia}{Velocidad} \quad (3.13)$$

- **Ciclos por hora:** establece la cantidad de “viajes” que se realizan en una hora, considerando la eficiencia de los equipos, ecuación 3.14:

$$\frac{Ciclos}{hora} = \frac{60 \text{ minutos}}{Tiempo de ciclo} * Eficiencia \quad (3.14)$$

- **Carga útil:** cantidad de material: toneladas de material en un ciclo efectivo, ecuación 3.15:

$$Carga \text{ útil (tn)} = \frac{Produccion \text{ horaria necesaria (tn/h)}}{Ciclos \text{ efectivos (h)}} \quad (3.15)$$

- **Volumen útil:** tomando en cuenta la densidad del material suelto, establece los metros cúbicos de material por ciclo, ecuación 3.16:

$$Volumen \text{ útil (m}^3) = \frac{Carga \text{ util (tn)}}{Densidad \text{ del material suelto (tn/m}^3)} \quad (3.16)$$

- **Capacidad nominal del cucharón:** representa el volumen o dimensionamiento que debe tener el equipo de carga, ecuación 3.17:

$$Capacidad \text{ nominal del cucharón} = \frac{Volumen \text{ util (m}^3)}{Factor \text{ de llenado}} \quad (3.17)$$

- **Número de camiones:** una vez conociendo el tiempo de ciclo y el tiempo de carga de cada equipo, se calcula la cantidad de camiones necesarios, ecuación 3.18:

$$Nc = \frac{Tiempo \text{ de ciclo}}{Tiempo \text{ de carga} * N^{\circ} \text{ Pases}} \quad (3.18)$$

3.5.3.4. Patrón de perforación y voladura

Es necesario realizar voladuras controladas en bancos para generar la primera fragmentación del macizo rocoso y de esta forma poder trasladar las fracciones reducidas con la ayuda de los equipos de carga y acarreo hasta la próxima etapa de reducción en planta. Para lograr esta rotura es necesario determinar el patrón de perforación y voladura efectivo, por medio del cálculo teórico de los parámetros básicos. Entre las especificaciones suministradas por la empresa, en este caso particular se contará con bancos (H) de 10 metros.

Del diseño geométrico se obtiene la cantidad de bancos que tendrá la explotación, con esta información se plantea una secuencia de explotación por cada nivel y su

respectivo volumen a remover. Esta cantidad de material condiciona el número de voladuras que se deben ejecutar para poder cumplir con la producción estimada de 60.000 m³ anuales.

Los parámetros a considerar para el diseño de la voladura son los siguientes:

- **Diámetro del barreno (øb):** Según el I.T.G.E (1994), la elección de diámetro de los barrenos depende de la producción horaria, o ritmo de la excavación, y de la resistencia de la roca. Sin embargo, con este criterio se tiende a obtener diámetros pequeños de perforación, que afectan los costos de la voladura. Por ello, de manera práctica se puede calcular el diámetro del barreno (en pulgadas) con la siguiente ecuación 3.19:

$$\text{øb} = \frac{H * 2,54}{4 * 100} \quad (3.19)$$

Dónde:

H: Es la altura del banco expresado en metros.

- **Retiro (B):** Según I.T.G.E (1994), el retiro puede ser calculado tomando en consideración, la resistencia a la compresión simple de la roca (MPa) y el diámetro de la barreno, mediante la siguiente tabla 3.5:

Tabla 3.5. Variables de diseño respecto a la Resistencia a la Compresión Simple

Resistencia a la Compresión Simple (MPa)				
Variables de Diseño	Blanda < 70	Media 70-120	Dura 120-180	Muy Dura > 180
Retiro (B)	39ø	37ø	35ø	33ø
Espaciamiento (S)	51ø	47ø	43ø	38ø
Retacado (T)	35ø	34ø	21ø	30ø
Sobreperforación (Sp)	10ø	11ø	12ø	12ø

Considerando que se trata de una roca dura, la fórmula utilizada será, ecuación 3.20:

$$B = 35 * \text{øb} \quad (3.20)$$

- **Espaciamiento (S):** La distancia que hay entre barrenos de una misma fila, viene dada por la ecuación 3.21:

$$S = 43 * \text{øb} \quad (3.21)$$

- **Sobreperforación (Sp):** La longitud de barreno por debajo del nivel del piso propuesto para asegurar que el rompimiento de la roca ocurra al nivel esperado, se calcula mediante la ecuación 3.22:

$$Sp = 12 * \text{øb} \quad (3.22)$$

- **Longitud de perforación (L):** Resulta de la suma de la longitud del banco y la sobre perforación. Ésta longitud está condicionada al ángulo de perforación, como en este caso se trabajará con bancos verticales, la fórmula 3.23 será :

$$L = \frac{H}{\text{Sen}\alpha} + sp \quad (3.23)$$

- **Taco (T):** Es la longitud del barrenado que debe ser llenado con material inerte para la retención de los gases generados durante la detonación y así evitar la pérdida de energía si se generase una fuga. Éste parámetro se calcula de la siguiente manera, ecuación 3.24:

$$T = 21 * \phi b \quad (3.24)$$

- **Altura de la carga de fondo (hf):** Según Konya (1990), para la selección de las cargas explosivas y sus respectivos parámetros, la altura de carga de fondo (Emulsión) depende del retiro y se calcula de la siguiente manera, ecuación 3.25:

$$hf = 1,3 * B \quad (3.25)$$

- **Concentración de la carga de fondo (qf):** En este caso, para emulsiones de densidad 1,16 g/ml, la concentración de la carga de fondo está expresada por la ecuación 3.26:

$$qf = \left(\frac{\rho_{exp} * \phi b^2}{1276} \right) \quad (3.26)$$

- **Peso de la carga de fondo del barrenado (Qf):** Expresado en Kg, es el producto resultante de la concentración de la carga de fondo y su altura, ecuación 3.27:

$$Qf = qf * hf \quad (3.27)$$

- **Concentración de la carga de columna (qc):** Representa la cantidad de explosivo por metro lineal. En este caso la carga de columna está constituida por ANFO, cuya densidad es de 0,8 g/ml y se calcula con la ecuación 3.28:

$$qc = \frac{\phi b^2}{2} * (\pi * \rho_{exp} * 1000) \quad (3.28)$$

- **Altura de la carga de columna (hc):** Es la diferencia entre la longitud de la perforación menos la altura de la carga de fondo y el taco, ecuación 3.29:

$$hc = L - hf - T \quad (3.29)$$

- **Peso de la carga de columna del barrenado (Qc):** Se determina mediante la siguiente ecuación 3.30:

$$Qc = qc * hc \quad (3.30)$$

- **Peso total de carga por barreno (Qt):** Indica la cantidad total de carga explosiva en el barreno, de fondo y columna, ecuación 3.31. Es importante acotar que en la realidad estos valores están sujetos a cambios, principalmente por los costos asociados a la cantidad de carga de fondo que puede ser usada, por ello, se busca reducirla y complementarla con la carga de columna:

$$Q_t = Q_f + Q_c \quad (3.31)$$

- **Factor de carga (Fc):** El consumo específico (kg/m^3) para voladuras con ANFO y emulsiones se determina de la siguiente forma, ecuación 3.32:

$$F_c = \frac{Q_t}{B*S*H} \quad (3.32)$$

- **Número de barrenos (N):** Considerando la cantidad de material por remover, los parámetros de retiro, espaciamiento y altura de banco, se puede calcular la cantidad de barrenos por perforar que serán necesarios, ecuación 3.33:

$$N = \frac{\text{Volumen a remover}}{B*S*H} \quad (3.33)$$

- **Tiempos de retardos (TRB)**

El tiempo de retardo es el intervalo de tiempo entre dos líneas de disparo consecutivos suficientes para que cada barreno fragmente el volumen de roca correspondiente a cada columna de explosivo. Detonar los barrenos de una misma fila simultáneamente en rocas masivas provoca una mala fragmentación debido a la intersección prematura de las grietas acompañado de una serie de efectos secundarios.

Según el manual de voladuras del Instituto Geológico y Minero de España, el tiempo de retardo entre barrenos de una misma fila (TRB) se puede calcular mediante la ecuación 3.34:

$$TRB = \left(4 - 8 \frac{ms}{m}\right) * R \quad (3.34)$$

dónde

TRB: Tiempos de retardo

R: retiro

Tabla 3.6. Tiempos de retardo (Kenya y Walter). Fuente: I.T.E.G. (1994) “Manual de perforación y Voladuras de Rocas”

Tipo de roca	Tiempo de retardo (ms/m de espaciamiento)
Areniscas, margas, carbones	6-7
Pizarras, sales y algunas calizas	5-6
Calizas compactas y mármoles, granitos, basaltos y cuarcitas, neis y gabros	4-5
Diabasas, porfidos, neises y mica esquistos, magnetitas	3-4

3.5.3.5. Descripción de los impactos ambientales

En esta fase de la investigación se definieron los impactos generados por la explotación del frente “Mina 2”, y desarrollando una propuesta de las medidas preventivas, mitigantes y correctivas de estos impactos durante y al final de la explotación.

- Decreto 1257
- Decreto 2219
- Decreto 883
- Decreto 2220
- Decreto 638
- Decreto 2217
- Decreto 2216
- Decreto 2635
- Decreto 2212
- Decreto 2226
- Norma COVENIN 1565:1995
- Norma COVENIN 2253:2001
- Norma COVENIN 2237-1989

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

A lo largo de este capítulo se desarrollan y analizan los resultados de la investigación correspondiente a la caracterización y planificación del yacimiento perteneciente al frente “Mina 2” de Cantera Bolívar C.A, para posibles usos industriales.

4.1. Sondeo del mercado

Este es realizado para evaluar la importancia de las arenas apuntalantes, gravas para frac pack y balasto en el mercado venezolano.

4.1.1. Material apuntalante y grava para frac pack

4.1.1.1. Análisis del entorno

La industria petrolera venezolana (PDVSA) está llevando a cabo distintos proyectos de extracción de petróleo mediante el fracturamiento hidráulico, como parte de las actividades impulsadoras de la economía del país. El material que se está usando como agente apuntalante y grava para frac pack en los distintos pozos a nivel nacional es un producto que se está importando, lo que repercute en un aumento en los costos de producción.

Precisamente por esto, existe actualmente en Venezuela un mercado insatisfecho de estos productos, porque no se cuenta con ningún distribuidor de material apuntalante o gravas para frac pack a nivel nacional. Siendo esta una oportunidad para Cantera Bolívar de incursionar en materia de investigaciones, que permitan conocer las características de la roca aflorante dentro de la concesión minera, y así poder determinar si la misma podría ser utilizada con tales fines y hacerle frente a la demanda del producto.

4.1.1.2. Descripción del producto, características y usos

El agente apuntalante o agente de sostén, es un componente que se encarga de impedir el cierre de las fracturas generadas por el fracturamiento hidráulico, que garantiza la conductividad del canal recién creado. Es un material que debe tener ciertas propiedades físicas y mecánicas, así como alta resistencia a los esfuerzos y a la corrosión. Este producto estará dirigido fundamentalmente a las obras llevadas a cabo por la industria petrolera (PDVSA).

Este agente de sostén se caracteriza por estar compuesto principalmente de arenas blancas bien redondeadas con altos porcentajes de cuarzo y con granulometría variada que depende de las especificaciones del pozo (tipo de fluido a producir, presión de

confinamiento y dimensiones) y de los costos. Existen otros tipos de agentes apuntalantes de mayor resistencia a la presión de confinamiento, como arenas resinadas, cerámicas, y para pozos muy profundos que deben soportar altas presiones de cierre se utiliza la bauxita, sin embargo, el inconveniente de estos materiales es que resultan ser muchos más costosos que las arenas.

La necesidad del apuntalante en la fractura ha sido verificada por numerosos tratamientos; una producción mayor y estable donde se utilizan los apuntalantes han llevado a la conclusión de que sin ellos la fractura inducida se cierra resultando en una capacidad de flujo muy pobre o nulo.

4.1.1.3. Demanda del producto

Como se describe anteriormente, el principal y único consumidor a nivel nacional de este producto es la empresa estatal Petróleos de Venezuela, S.A (PDVSA), cuyas actividades son la explotación, producción, refinación, mercadeo y transporte del petróleo venezolano.

Información suministrada por el Instituto de Tecnología Venezolana para el Petróleo (INTEVEP, 2016) en estudios para el diseño de fracturación hidráulica de la Formación B2-X.68 (Eocenofrac), donde se puede apreciar en la figura 4.3 las dimensiones de la fractura simulada de la formación así como se describe en la tabla 4.1 los datos obtenidos.

Tabla4.1. Resumen parámetros de simulación de la formación B2-X.68 (Eocenofrac).

Longitud de fractura (pies)	253,3
Longitud de fractura apuntalada (pies)	236,4
Altura de fractura (pies)	145,1
Altura de fractura apuntalada (pies)	135,4
Ancho promedio (pulgadas)	0,507
Sacos de apuntalante (sxs)	1313,5

Es importante resaltar que el apuntalante usado en esta formación es del tipo Carbolite (cerámico) con una granulometría 16/20, específicamente para las condiciones de la fractura. Sin embargo, los datos mostrados en la tabla 4.1, muestran las dimensiones de las fracturas que se pueden desarrollar en una formación para cada pozo; la génesis, las dimensiones de fracturas y las presiones de confinamiento son variables, por ello, las cantidades necesarias para cada uno depende de la naturaleza del yacimiento. Para poder determinar la demanda total del material apuntalante en el mercado, es necesario conocer la cantidad requerida, a detalle, para cada pozo a nivel nacional. Como esta información se desconoce o se encuentra en estado de confidencialidad, para poder conocer la cantidad de material necesario para suplir la

demanda insatisfecha de material apuntalante es mediante los pedidos que PDVSA le solicite directamente a las empresas productoras.

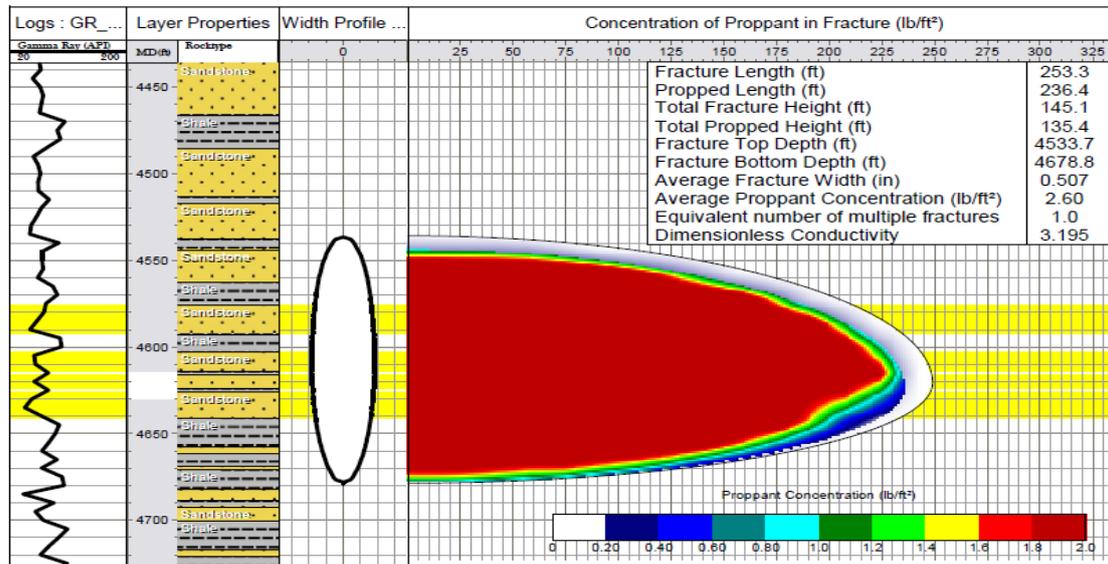


Figura 4.1. Simulación de la formación B2-X.68 (Eocenofrac). Fuente PDVSA INTEVEP.

Sin embargo, en nuestro país se han identificado unos 360 campos petrolíferos que representan más de 17.300 yacimientos de hidrocarburos en una extensión de 11,9 millones de hectáreas (13% del territorio nacional), de las cuales el 52% se encuentra en la Provincia Oriental y el resto en la Provincia Occidental como se muestra en la figura 4.2.

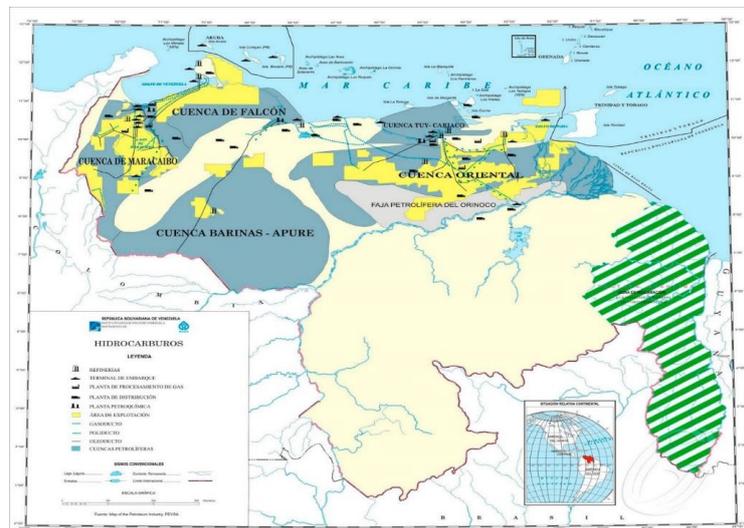


Figura 4.2. Campos petroleros venezolanos. Fuente: <http://geologiavenezolana.blogspot.com>

En las tablas 4.2 y 4.3 se indica la ubicación de los campos petroleros venezolanos en los cuales se han desarrollado aperturas a nuevos pozos, para la producción de crudo por el método de fracturamiento hidráulico, exceptuando la Faja Petrolífera del Orinoco donde no es factible este método debido a la naturaleza del yacimiento.

Tabla 4.2. Ubicación de los campos petroleros de la Provincia Occidental

Provincia Occidental	Área	Campos petrolíferos principales
Maracaibo	Costa Occidental	La Paz, Boscán, Concepción, Mara, Los Claros, Urdaneta, Los Manueles, Tarra
	Centro Lago	Lama, Lamar Centro
	Costa Oriental*	Tía Juana, Lagunillas, Bachaquero, Ceuta, Motatán, Barua, Ambrosio
Falcón	Occidental	Tiguaje, Hombre Pintado, Media, El Mene
	Oriental	La Vela, La Ensenada, Cumarebo
Barinas-Apure	Barinas	Silvestre, Silvan; Sinco, Páez-Mingo
	Apure	Guafita, La Victoria

*Llamada también Costa del Distrito Bolívar o Campo Costero Bolívar

Tabla 4.3. Ubicación de los campos petroleros de la Provincia Oriental.

Provincia Oriental	Área	Campos petrolíferos principales
Maturín **	Anaco	Santa Rosa, San Joaquín, El Roble, Santa Ana...
	Oficina	Melones, Oficina Central, Yopales, Oveja, Oritupano, Dación, Ostra, Mata
	Norte de Monagas	El Furrial, Santa Bárbara, Jusepín, Carito, Pedernales, Quiriquire
	Sur de Monagas	Jobo, Morichal, El salto, Pilón
	Faja del Orinoco	Cerro Negro, Hamaca, Zuata, Machete
Guárico **	Las Mercedes	Belén, Guavinita, Palacio

** Subcuenca

4.1.1.4. Oferta del producto

Las empresa más comercial de arena blanca silíceas, es UNIMIN (con operaciones de minado y procesamiento en los Estados Unidos, Canadá, Noruega, Australia, México, Brasil y Argentina), Badger (con operaciones en Estados Unidos y Canadá). En el mercado también se tienen arenas de menor calidad, como las Texas o las Norton.

En primera instancia se debe estudiar la calidad de la roca y determinar que cumpla con las características establecidas por las normativas, posteriormente se procede a formular la planificación de las actividades unitarias de Cantera Bolívar y del rediseño de la planta al introducir este material en la línea de producción. Se prevé contar con una capacidad instalada de planta que pueda satisfacer la demanda de material apuntalante solicitado por PDVSA para los proyectos ya existentes de fracturamiento hidráulico y los nuevos a ser desarrollados.

Siendo un hecho, que los materiales que serán producidos por esta empresa tienen una segura colocación en el mercado regional.

4.1.1.5. Canales de comercialización

La transferencia del producto podrá realizarse a través de las principales vías de comunicación del Estado, desde Cantera Bolívar a los campos petrolíferos, de igual forma se podrían utilizar las vías marítimas, ambas alternativas se encuentran plasmadas en la figura 4.3. La venta puede ser efectuada a puerta de planta o entregados directamente al consumidor final, la segunda repercutirá directamente en los costos y esta variable dependerá directamente del consumidor el cual es Petróleos de Venezuela S.A (PDVSA).

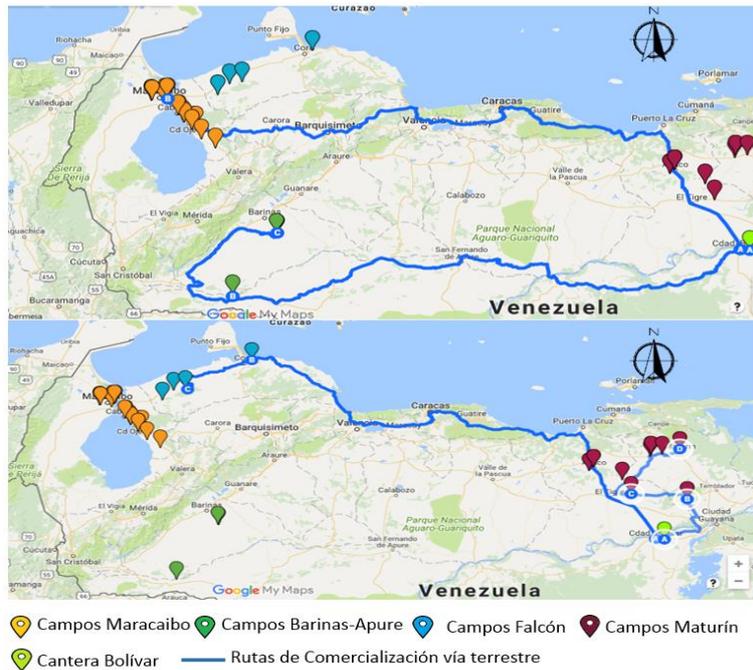


Figura 4.3. Canales de comercialización vía terrestre a campos petrolíferos. Fuente: Google Maps

4.1.2. Balasto Ferroviario

4.1.2.1. Descripción del producto

El balasto ferroviario aporta estabilidad a la vía férrea, además distribuye presiones, amortigua vibraciones, ofrece drenaje de las aguas, entre otras. Para cumplir estas funciones, se requieren rocas resistentes al desgaste por abrasión, y al ataque químico, para poder resistir a los efectos y la degradación como resultado de la acción de impacto que producen los vehículos y la acción ambiental. Las rocas para extracción del balasto deben ser de naturaleza silíceas y, preferiblemente, de origen ígneo o metamórfico, haciendo atractivo el estudio de la roca aflorante en Cantera Bolívar para ser utilizada para tal fin.

4.1.2.2. Demanda del producto

El demandante de este producto es directamente el Estado venezolano a través del Instituto de Ferrocarriles del Estado (IFE), el cual es el órgano executor y regulador del Sistema de Transporte Ferroviario Nacional, dedicado al estudio, la construcción, la ampliación, la operación, el mantenimiento y la explotación integral. En la siguiente tabla 4.4 se muestra el sistema que conforma la red ferroviaria nacional tanto de proyectos como en construcción y en la figura 4.4 se muestra una representación gráfica de la misma.

Tabla 4.4. Red ferroviaria según el Instituto de Ferrocarriles del Estado

SISTEMA QUE CONFORMAN LA RED FERROVIARIA NACIONAL	km	FASE
Tramo Puerto Cabello-La Encrucijada	128,8	Construcción
Tramo Chaguaramas-Las Mercedes-Cabruta	201	Construcción
Tramo San Juan de los Morros-San Fernando de Apure	252	Construcción
Tramo Acarigua-Turén	44,33	Construcción
Tramo Tinaco-Anaco	468	Construcción
Tramo Puerto Cabello-Acarigua	240,89	Rehabilitación
Tramo Caracas-Cúa	41,4	Operación
Tramo Charallave Norte-San Juan de los Morros	116	Proyecto
TOTAL	1492,42	



Figura 4.4. Mapa Proyectos Ferroviarios de Venezuela. Fuente: Instituto de Ferrocarriles del Estado (IFE)

Tomando en cuenta que el ancho de vías es de 14 m, además considerando parámetros como los criterios mostrados en la figura 4.5 según (MIDEPLAN, 2003) para el ángulo de reposo, asimismo (EFE, 2006) en su Norma Técnica de Construcción de Vía Férrea ha confeccionado un gráfico fijando el espesor del balasto de acuerdo a la categoría de la vía, esta se muestra en la tabla 4.5, con estos datos se estima una demanda insatisfecha de aproximadamente 14.000.000 m³ de balasto

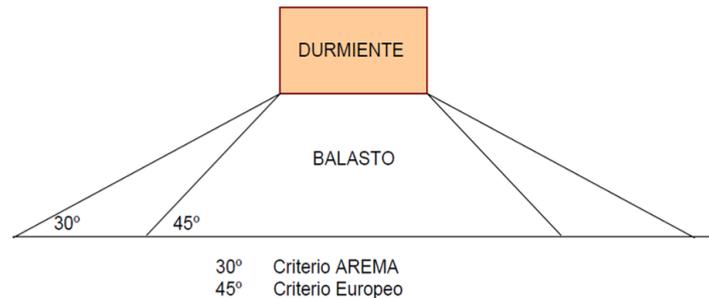


Figura 4.5. Criterios Simplificados Sobre la Distribución de Presiones por la Capa de Balasto.
Fuente: Recomendaciones de diseño para proyectos de infraestructura ferroviaria, MIDEPLAN Santiago de Chile, 2003

Tabla 4.5. EFE Norma Técnica de Construcción de Vía Férrea

Categoría de la Vía	7	6	5	4B	4A	
10 ³ t/día	<1,2	<5	<20	<30	<40	
ESPESOR DEL BALASTO						
0 cm						
10 cm	Durmiente de madera					
15 cm						
20 cm						
25 cm	Durmientes de hormigón					
30 cm						

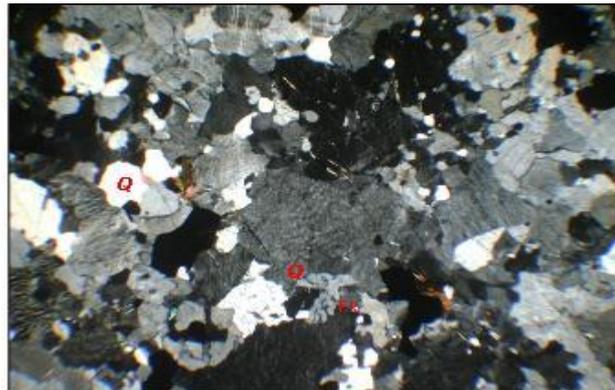
4.1.2.3. Canales de comercialización

La principal forma de comercializar este producto terminado es por medio de las vías terrestres, distribuyendo el material hasta los distintos puntos de construcción de proyectos ferroviarios del oriente del país. Las vías alternas para la venta del producto son las rutas marítimas por medio de los puertos principales y secundarios, para luego ser distribuido a los distintos proyectos que se llevan a cabo. Teniendo una ubicación estratégica a las principales vías de transporte se abre la posibilidad del estudio de la roca aflorante en Cantera Bolívar para su producción como balasto.

4.2. Caracterización del frente “Mina 2”, para arenas apuntalantes y grava para frac pack

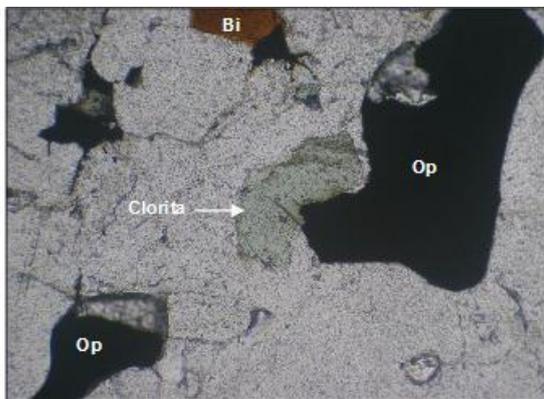
4.2.1. Análisis mineralógico

Seguidamente se presentan los resultados obtenidos por el estudio geológico-geotécnico del área de explotación realizado por (Torres, 2015) para constructora PEDECA C.A. Cantera Bolívar, donde se le realizó una descripción macroscópica de muestra de mano y una descripción microscópica de la sección fina, Figura 4.6; 4.7.



Muestra CPB-2 (NX) 10X/2X: Se observa texturalmente alotriomórfica-equigranular lobulada, formada por cuarzo (Q), policristalino y monocristalino y feldespato (FK) todos de tamaño medio y fino.

Figura 4.6. Fotomicrografía muestra CPB-1 (NX) 10X/2X. Fuente: Estudio Geológico – Geotécnico del área de explotación, Torres C. (2015) - Constructora PEDECA C.A. Cantera Bolívar



Muestra CPB-2 (NX) 10X/10X: Se observan cristal de clorita, anhedral, en el borde de los opacos (Op); mica biotita (Bi) anhedral y finalmente opacos (Op) de tamaño medio y fino en la muestra.



Muestra CPB-2 (NX) 10X/10X: Cuarzo (Q), anhedral, policristalino; cristal de clorita, anhedral, en el borde de los opacos (Op); mica biotita (Bi) anhedral y finalmente opacos (Op) de tamaño medio y fino en la muestra.

Figura 4.7. a) Fotomicrografía muestra CPB-1 (NX) 10X/10X b) Fotomicrografía muestra CPB-1 (NX) 10X/10X. Fuente: Estudio Geológico – Geotécnico del área de explotación, Torres C. (2015) - Constructora PEDECA C.A. Cantera Bolívar

4.2.1.1. Descripción macroscópica de la muestra de mano

En muestra de mano es una roca dura, homogénea, fanerítica, de grano variable (hasta 4 mm), hacia un extremo de la muestra se observa con tonos negros por presencia

minerales máficos formando banda, que se intercala con minerales félsicos en general la roca es de color rosado claro.

4.2.1.2. Descripción microscópica de la sección delgada

- **Textura:** Alotriomórfica-equigranular Lobulada, definida por cristales de tamaño medio a fino, anhedrales, levemente fracturados, recrystalizados y alterados, se observa deformación en algunos cristales.
- **Cristalinidad:** Holocristalina.
- **Estructura:** Masiva.
- **Minerales en orden de abundancia decreciente:**

Tabla 4.6. Minerales en orden de abundancia decreciente

Principales	(%)	Accesorios	(%)	Alteración
Feldespato	~55-50	Mica biotita, circón, clorita y esfena.	~4	Sericita, clorita y caolinita
Cuarzo	~20-15			
Plagioclasa	~15-10			
Opacos	~6-5			

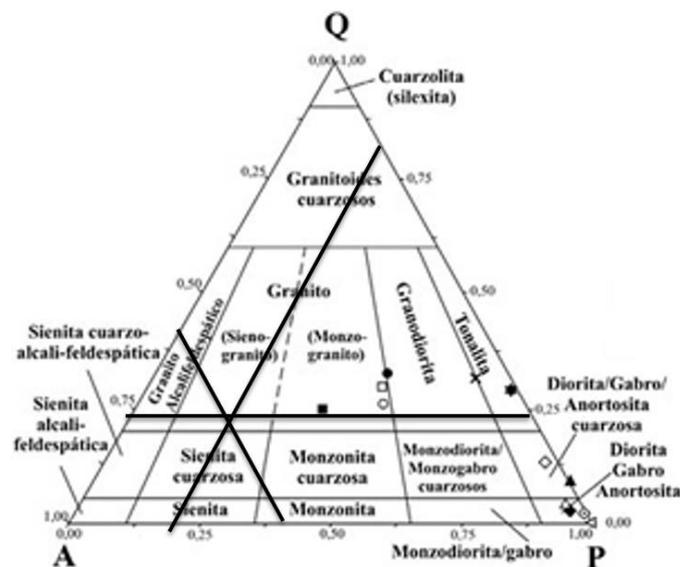


Figura 4.8. Triángulo APQ para la denominación de las rocas ígneas

- **Clasificación o tipo de roca:** Granito (Sienogranito)
- **Origen:** Ígneo

4.2.1.3. Descripción composicional

- **Feldespato Potásico:** Se presentan en su mayoría textura mesopertita, además microclino, ortoclasa y microclino pertítico, se observan en forma anhedral, de tamaño medio a fino, hay cristales con bordes de textura gráfica, alterados (sericita y caolinita), deformado con elongación del borde al centro del cristal,

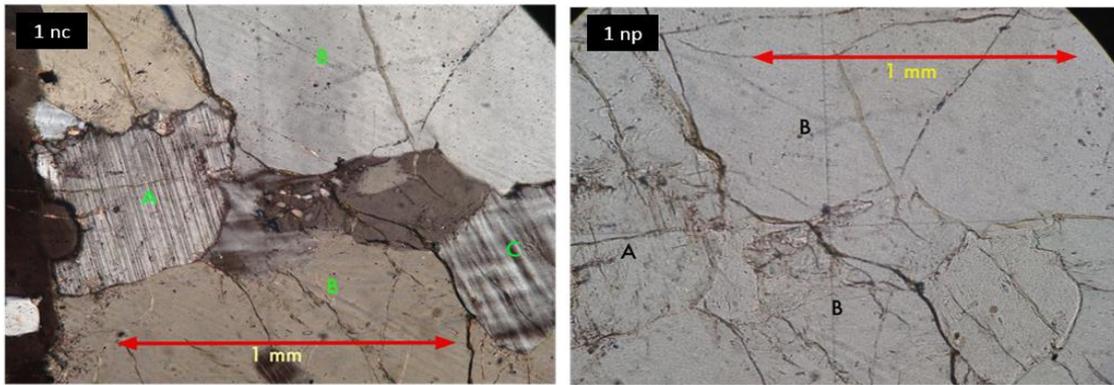
levemente fracturados mayormente rellenas de mineral opaco y mica biotita, con inclusiones de circón y mica biotita.

- **Cuarzo:** Anhedral, de tamaño medio a fino, con extinción ondulante, presenta bordes suturados, monocristalino, algunos son policristalinos con límite irregular formado por recristalización por migración de borde de grano, además está deformado y bordeado por opacos, recristalizado internamente con fracturas rellenas por mineral opaco, inclusiones de circón, opaco y esfena.
- **Plagioclasa:** Probable tipo albita, anhedral, de tamaño medio a fino, con maclas polisintéticas, bordes lobulados, algunos cristales se observan levemente alterados (sericita), con bordes mirmequíticos, fracturas levemente marcadas rellenas de mica biotita y opaco, inclusiones redondeados de cuarzo y circón.
- **Opacos:** Anhedral, de tamaño fino escaso medio, relleno de fracturas y bordeando algunos cristales, se observa bordeado de circón y biotita.
- **Accesorios:** Se observan mica biotita, en forma de tablillas, escasa anhedral, de tamaño fino a muy fino, deformadas, flexuradas, alterada (cloritizada), se observa mineral opaco sustituyéndolo desde los bordes; circón de tamaño fino a muy fino, como inclusión en los opacos y demás cristales; clorita, anhedral, de tamaño fino a muy fino, levemente pleocroica color verdoso; se observan finalmente diminutos cristales de esfena, granudo de tamaño fino a muy fino dispersos en la muestra.

4.2.1.4. Sección fina de la muestra 2427

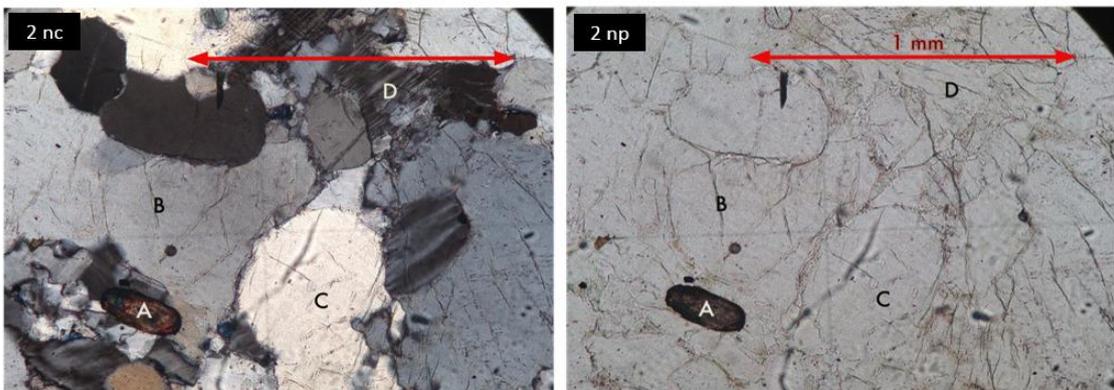
A continuación, se presentan los resultados del estudio petrográfico de la muestra 2427 extraída del frente de explotación "Mina 2" el análisis se realizó considerando dos modalidades de la sección fina: sin en el analizador activado como se puede observar en la figura 4.9 de la muestra 1 nc y para poder detectar la presencia de minerales opacos fue necesario realizar el estudio con el analizador activado (muestra 1 np).

Esta prueba fue realizada para descartar la presencia de ortopiroxenos en la muestra, los cuales son particulares de la roca charnockita, que transitan entre tipos graníticos y gabroideos, los resultados arrojaron que no presenta este mineral por lo tanto se clasifica la roca como un sienogranito según lo descrito anteriormente.



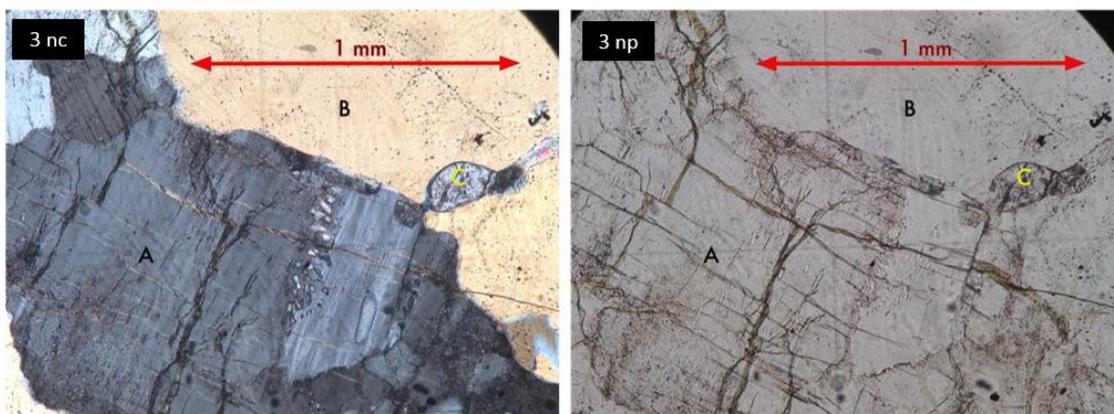
- A: Cristal de plagioclasa
- B: Cristal de cuarzo
- C: Cristal de microclino (feldespato potásico)

Figura 4.9. Sección fina 1 nc y 1 np



- A: Cristal de esfena
- B: Cristal de cuarzo
- C: Cristal de ortosa (feldespato potásico)
- D: Cristal de plagioclasa

Figura 4.10. Sección fina 2 nc y 2 np



- A: Cristal de ortosa (feldespato potásico)
- B: Cristal de cuarzo
- C: Cristal de apatito

Figura 4.11. Sección fina 3 nc y 3 np

4.2.2. Granulometría inicial

Se realizó el estudio granulométrico a las muestras 2427-1, 2427-2, 2427-3 y 2427-4 obtenidas de la pila de arrocillo para poder determinar qué porcentaje de este material se encuentra dentro de los rangos permisibles para las arenas apuntalantes según la norma (ISO 13503-2, 2006) la cual establece tamaños comprendidos entre las mallas 20/140, en la Figura 4.12 se muestran los resultados obtenidos, donde se puede observar que existe en promedio un 30,95% de material que se encuentra dentro de los rangos requeridos, mientras el material de rechazo representa en promedio de un 69,04%, por motivos de la investigación es necesario la reducción de los tamaños mayores a la malla 20 e incluirlos en los rangos establecidos para las arenas apuntalantes con el objeto de generar una cantidad de muestra mayor para los posteriores ensayos.

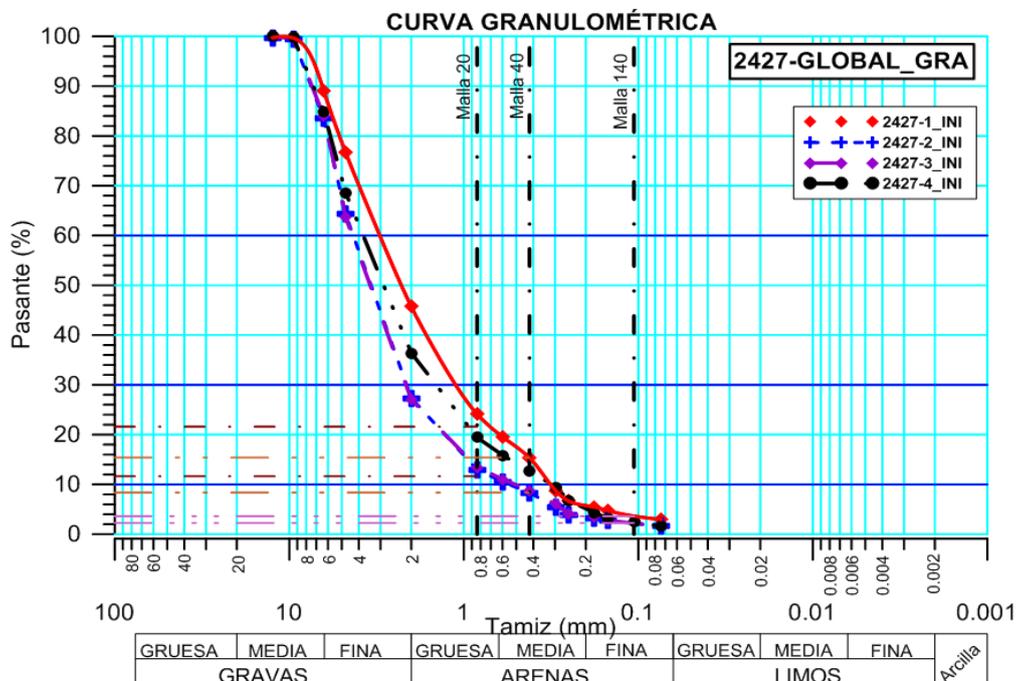


Figura 4.12. Curva granulométrica inicial de las muestras 2427 global

4.2.2.1. Reducción de tamaño de las muestras

Se realizó la reducción de tamaño a nivel de laboratorio, por medio de molienda en dos etapas, la primera para los tamaños correspondientes a las mallas 1/2", 3/8", 1/4" y la segunda con el material retenido en malla 4 y 10 tal y como se muestra en las figuras 4.13 y 4.14.

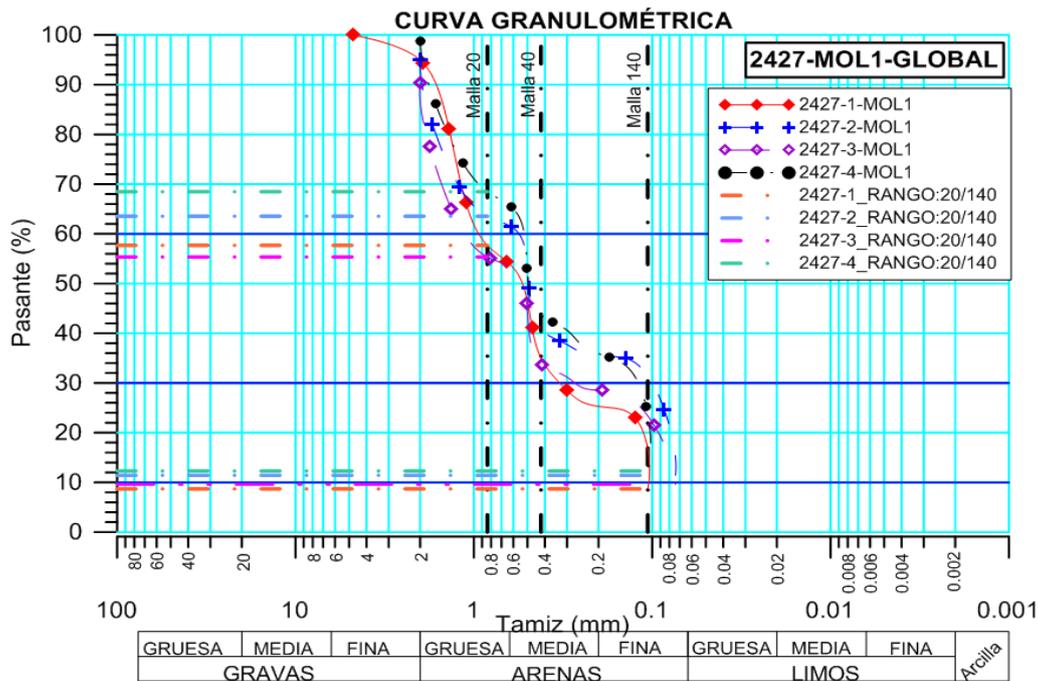


Figura 4.13. Curva granulométrica, primera etapa de molienda

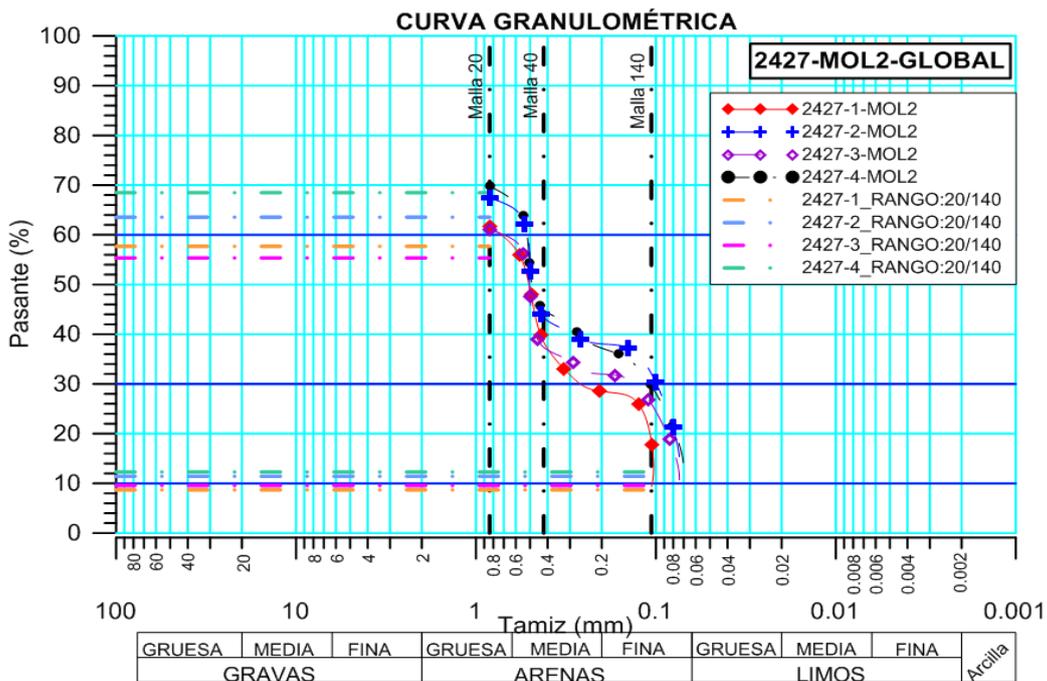


Figura 4.14. Curva granulométrica, segunda etapa de molienda

4.2.3. Ensayo de resistencia a los ácidos

En la composición del fluido de fracturación se encuentran varios ácidos, entre los cuales se destacan el Clorhídrico y el Fluorhídrico, que se encargarán de disolver aquellos granos solubles, produciendo el cierre de la fractura e impulsando la migración del agente apuntalante dentro del sistema poral artificial creado, de esta forma no se cumpliría la función del agente de sostén, por lo que es de gran

importancia determinar en laboratorio la resistencia al ácido de las arenas apuntalantes y gravas para frac pack, en la tabla 4.7 se muestran los porcentajes permisibles de las muestras al ser sometidas a la solución ácida.

Tabla 4.7. Máxima solubilidad recomendada a los ácidos

Máxima solubilidad a los ácidos		
Tamaño de arena		Máxima solubilidad permitido (% en peso)
ASTM	mm	
6/12 a 30/50	1,66/3,36 a 0,30/0,60	2,0
40/70 a 70/40	0,21/0,42 a 0,10/0,21	3,0

Los resultados se obtuvieron al someter cada una de las muestras por triplicado a una solución $HCl: HF$ 12: 3 es decir, 12% en masa de HCl y 3% en masa de HF), tabla 4.8.

Tabla 4.8. Reacción a los ácidos

MUESTRAS	Ms (g)	Mf (g)	SOLUBILIDAD (%)	RESISTENCIA (%)	
2427-1.1	3,63	1,87	48,37	51,63	
2427-1.2	4,20	2,35	44,10	55,90	
2427-1.3	3,86	2,14	44,46	55,54	
2427-2.1	3,82	1,78	53,42	46,58	
2427-2.2	3,22	1,52	52,80	47,20	
2427-2.3	3,48	1,23	64,68	35,32	
2427-3.1	3,43	1,69	50,75	49,25	
2427-3.2	4,23	2,34	44,74	55,26	
2427-3.3	4,95	2,91	41,27	58,73	
2427-4.1	3,84	0,53	86,25	13,75	
2427-4.2	4,29	2,40	44,08	55,92	Ms: masa inicial
2427-4.3	4,00	1,90	52,50	47,50	Mf: masa final
Promedio			52,285	47,715	

Al ser sometidas las muestras durante un período de tiempo de 12 horas continuas a la reacción $HCl: HF$, notamos como resultado final un valor alto de solubilidad debido a la presencia de mineral de feldespato en la muestra, el cual químicamente es sensible al $HCl: HF$. Motivado a esto, el ensayo indica una pérdida en promedio de 52.29% en peso, los cuales no son admisibles por las normativas.

4.2.4. Ensayo de turbidez

En el material apuntalante el contenido de arcillas y otros elementos en suspensión también está limitado, por tanto se realizó una prueba de turbidez donde se determina la cantidad de partículas en suspensión u otras partículas finamente divididas que contaminan la muestra. Este ensayo indica los elementos blandos que posee el agente de sostén, que en presencia de agua pueden crear finos en suspensión y taponar el

sistema poral de la fractura. En la tabla 4.9 se presentan los resultados obtenidos de las mediciones ópticas de las partículas en suspensión de las muestras estudiadas, los resultados se expresan en FTU (Formazin Turbidity Unit / Unidades de Turbidez de Formazina)

Tabla 4.9. Ensayo de turbidez

Muestra	Masa (g)	T	1/T	UT	
2427-1.1	1,56	49	0,02	220	
2427-1.2	1,6	46	0,022	262	
2427-1.3	2,11	39	0,026	345	
2427-2.1	2,01	49	0,02	220	
2427-2.2	2,03	61	0,016	127	
2427-2.3	2,18	50	0,02	220	
2427-3.1	1,52	72	0,014	79	
2427-3.2	1,54	65	0,015	116	
2427-3.3	1,72	64	0,016	127	
2427-4.1	1,53	44	0,023	284	
2427-4.2	1,8	51	0,02	220	T: Transmitancia
2427-4.3	1,43	43	0,023	284	UT: Unidad de turbidez
Promedio				208,6	

En promedio las muestras presentan una turbidez de 208,6 UT. Según la norma para los agentes de sostén para fracturación no deberán exceder los 250 UT, por lo que las muestras si cumplen con este parámetro.

4.2.5. Determinación de la densidad bulk y densidad aparente

La densidad bulk y la densidad aparente son propiedades importantes de los apuntalantes. Para el caso de la densidad bulk, esta excluye los poros que pueden estar en el apuntalante, así como los espacios vacíos entre el mismo.

En la tabla 4.10 se muestran las mediciones correspondientes para la realización del ensayo de la densidad bulk según la norma ISO 13503-2, los cuales se llevaron a cabo con a una temperatura de 23°C, con un matraz precisión 25 ml, utilizando muestras con un tamaño 20/40, los resultados de la misma se presentan en la tabla 4.10.

Tabla 4.10. Determinación de la densidad bulk de las muestras

Muestra 2427-1			
	Peso Matraz (g)	Peso muestra (g)	Densidad (g/ml)
2427-1.1	24,8299	36,5272	1,461088
2427-1.2	24,104	36,948	1,47792
2427-1.3	24,1314	36,6983	1,467932
Muestra 2427-2			
	Peso Matraz (g)	Peso muestra (g)	Densidad (g/ml)
2427-2.1	24,8306	37,3154	1,492616
2427-2.2	24,1043	35,5477	1,421908
2427-2.3	24,1323	37,4364	1,497456
Muestra 2427-3			
	Peso Matraz (g)	Peso muestra (g)	Densidad (g/ml)
2427-3.1	24,8306	38,3789	1,535156
2427-3.2	24,1035	38,9003	1,556012
2427-3.3	24,1334	38,8598	1,554392
Muestra 2427-4			
	Peso Matraz (g)	Peso muestra (g)	Densidad (g/ml)
2427-4.1	24,8318	37,7053	1,508212
2427-4.2	24,1046	35,9303	1,437212
2427-4.3	24,1333	37,3082	1,492328

A continuación, se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la tabla 4.11 para la densidad bulk de la arena apuntalante y grava para frac pack., siendo el promedio total de 1,49187 g/ml

Tabla 4.11. Densidad bulk

Muestra 2427-1 (g/ml)	1,4690
Muestra 2427-2 (g/ml)	1,4707
Muestra 2427-3 (g/ml)	1,5485
Muestra 2427-4 (g/ml)	1,4793
Promedio	1,49187

Por otro lado, la densidad aparente describe la masa de apuntalante que llena un volumen unitario e incluye tanto el apuntalante como la porosidad. Se usa para determinar la masa de apuntalante necesaria para llenar una fractura o tanque de almacenamiento. La densidad aparente se mide con un fluido de baja viscosidad que moja la superficie de la partícula e incluye el espacio de poro inaccesible para el fluido. Para este ensayo, el fluido de prueba fue el Xileno Técnico de densidad 0,86 g/ml, un picnómetro de 25 ml y una masa de 40,46 g, a una temperatura de 23°C, utilizando muestras con un tamaño 20/40, los resultados de la misma se presentan en la tabla 4.12.

Tabla 4.12. Determinación de la densidad aparente de las muestras

Muestra 2427-1			
	Mp	Mf+I+P	Densidad (g/ml)
2427-1.1	17,5919	73,6891	2,6268
2427-1.2	14,6276	71,501	2,5241
Muestra 2427-2			
	Mp	Mf+I+P	Densidad (g/ml)
2427-2.1	18,5044	74,1777	2,5738
2427-2.2	19,7336	74,6794	2,4560
Muestra 2427-3			
	Mp	Mf+I+P	Densidad (g/ml)
2427-3.1	14,6053	71,3058	2,4358
2427-3.2	15,9194	72,0599	2,3950
Muestra 2427-4			
	Mp	Mf+I+P	Densidad (g/ml)
2427-4.1	15,8048	72,1291	2,4567
2427-4.2	16,7244	72,7252	2,4562

Mp: masa de la roca (apuntalante)

Mf+I+P: masa del líquido más roca (apuntalante) más picnómetro

Se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la tabla 4.13 para la densidad aparente de la arena apuntalante y grava para frac pack, siendo el promedio total de

Tabla 4.13. Densidad aparente

Muestra 2427-1 (g/ml)	2,5754
Muestra 2427-2 (g/ml)	2,5149
Muestra 2427-3 (g/ml)	2,4154
Muestra 2427-4 (g/ml)	2.4565
Promedio	2,49055

4.2.6. Ensayo de triturbilidad

Este ensayo permite determinar y comparar la resistencia al aplastamiento del material ensayado. Las pruebas se realizaron en muestras del rango de tamaño 20/40, con la finalidad de calcular la cantidad de granos triturados en cada nivel esfuerzo máximo y mínimo, los resultados se encuentran reflejados en las figuras. 4.15, 4.16, 4.17, 4.18.

<p>Muestras iniciales</p>  <p>Resultados del ensayo</p>  <table border="1" data-bbox="319 694 766 761"> <tr> <td>20/40: 73,62 %</td> <td>20/40: 55,31 %</td> </tr> <tr> <td>Fondo: 26,38 %</td> <td>Fondo: 44,69 %</td> </tr> </table>	20/40: 73,62 %	20/40: 55,31 %	Fondo: 26,38 %	Fondo: 44,69 %	Muestra	2427-1 MIN	2427-1 MAX
	20/40: 73,62 %	20/40: 55,31 %					
	Fondo: 26,38 %	Fondo: 44,69 %					
	Nivel de esfuerzo de aplastamiento (MPa)	13,80	34,50				
	Masa Inicial	36,25	36,25				
	Retenido 20/40 (g)	26,60	20,00				
	Pasante (g)	9,20	15,20				
% Triturabilidad	26,38	44,69					

Figura 4.15. Ensayo de triturabilidad para la muestra 2427-1

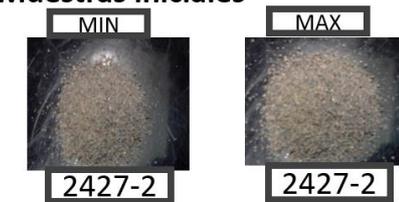
<p>Muestras iniciales</p>  <p>Resultados del ensayo</p>  <table border="1" data-bbox="319 1411 766 1478"> <tr> <td>20/40: 71,65 %</td> <td>20/40: 56,23 %</td> </tr> <tr> <td>Fondo: 28,35 %</td> <td>Fondo: 43,77 %</td> </tr> </table>	20/40: 71,65 %	20/40: 56,23 %	Fondo: 28,35 %	Fondo: 43,77 %	Muestra	2427-2 MIN	2427-2 MAX
	20/40: 71,65 %	20/40: 56,23 %					
	Fondo: 28,35 %	Fondo: 43,77 %					
	Nivel de esfuerzo de aplastamiento (MPa)	13,80	34,50				
	Masa Inicial	36,33	36,33				
	Retenido 20/40 (g)	26,00	20,30				
	Pasante (g)	10,30	15,90				
% Triturabilidad	28,35	43,77					

Figura 4.16. Ensayo de triturabilidad para la muestra 2427-2

Muestra	2427-3 MIN	2427-3 MAX
Nivel de esfuerzo de aplastamiento (MPa)	13,80	34,50
Masa Inicial	38,25	38,25
Retenido 20/40 (g)	28,00	21,90
Pasante (g)	10,00	16,00
% Triturabilidad	25,14	41,83

Muestras iniciales	
MIN	MAX
	
2427-3	2427-3
Resultados del ensayo	
20/40 FONDO	20/40 FONDO
	
2427-3 MIN	2427-3 MAX
20/40: 74,84 %	20/40: 58,17 %
Fondo: 25,14 %	Fondo: 41,83 %

Figura 4.17. Ensayo de triturabilidad para la muestra 2427-3

Muestra	2427-4 MIN	2427-4 MAX
Nivel de esfuerzo de aplastamiento (MPa)	13,80	34,50
Masa Inicial	36,54	36,54
Retenido 20/40 (g)	26,00	20,00
Pasante (g)	10,40	16,10
% Triturabilidad	28,46	44,06

Muestras iniciales	
MIN	MAX
	
2427-4	2427-4
Resultados del ensayo	
20/40 FONDO	20/40 FONDO
	
2427-4 MIN	2427-4 MAX
20/40: 71,54 %	20/40: 55,94 %
Fondo: 28,46 %	Fondo: 44,06 %

Figura 4.18. Ensayo de triturabilidad para la muestra 2427-4

Con estos resultados, se determinó una triturabilidad promedio de 27,08%, para un nivel mínimo de esfuerzo y 43,59% para un esfuerzo máximo.

En las gráficas de esfuerzo axial vs deformación efectiva, (Figuras 4.19, 4.20) se aprecia que las partículas sufren un reacomodo en el momento que comienza la prueba de 0 a 5 MPa, esto debido a los poros existentes en el material granular. Las partículas más pequeñas se ven forzadas a introducirse en los espacios vacíos hasta que se compactan por completo, comenzando a producir la deformación real de las partículas hasta que alcanza la presión máxima de 13,8 y 34,5 MPa.

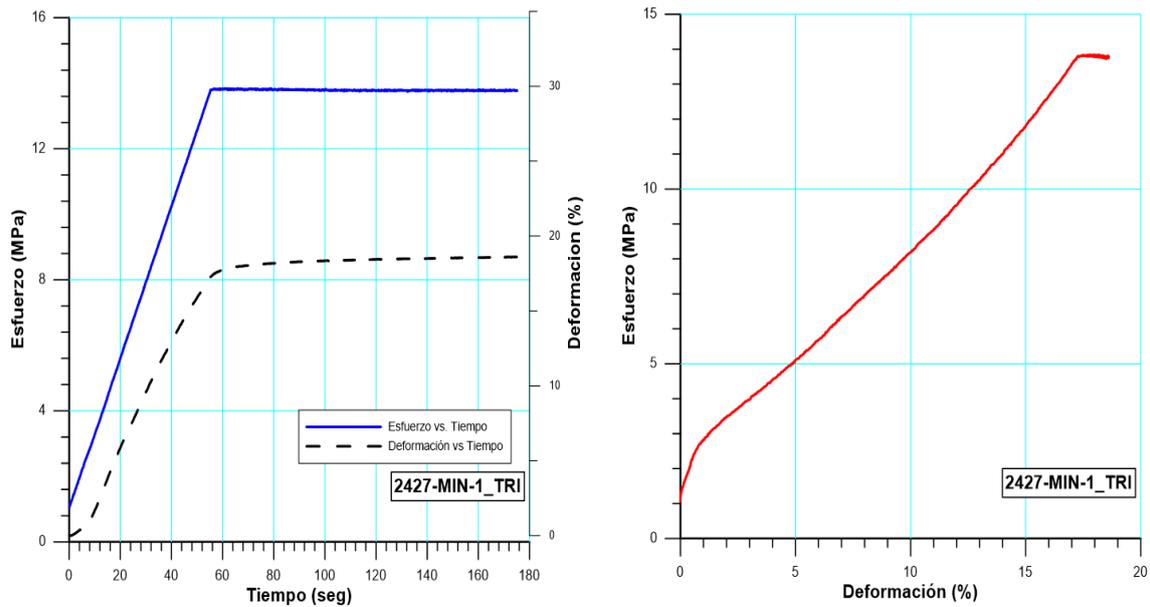


Figura 4.19. Gráficas Esfuerzo Vs Deformación- Esfuerzo, Deformación vs Tiempo. 2427-1, MIN

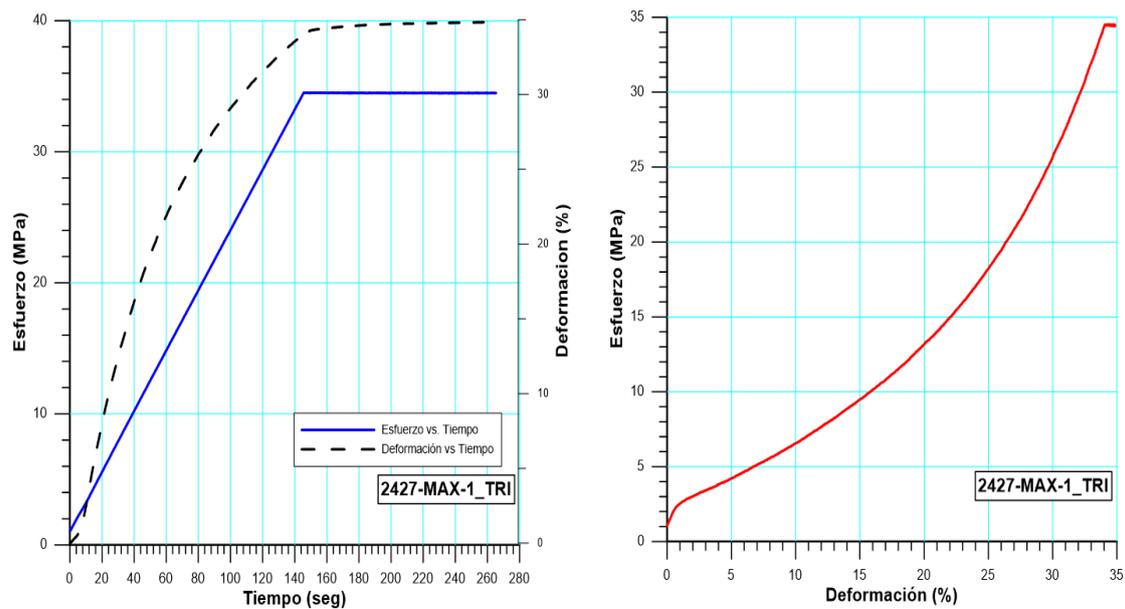


Figura 4.20. Gráficas Esfuerzo Vs Deformación- Esfuerzo, Deformación vs Tiempo. 2427-1, MAX

El comportamiento que se visualiza en las gráficas anteriores, se repite de manera muy similar para las demás muestras. Sin embargo, en la tabla 4.14, se puede observar de manera resumida que en promedio, las muestras que estuvieron sometidas a un esfuerzo de 13,8 MPa alcanzaron una deformación máxima de 18% a los 55 segundos. Y para un esfuerzo de 34,5 MPa, la deformación máxima fue de 31% a los 145 segundos.

Tabla 4.14. Deformaciones máximas vs esfuerzos, en el tiempo.

	Esfuerzo mínimo (13,8 MPa)		Esfuerzo máximo (34,5 MPa)	
	Tiempo (seg)	Deformación (%)	Tiempo (seg)	Deformación (%)
2427-1	55	17	145	34
2427-2	55	19	145	31
2427-3	55	20	145	31
2427-4	55	19	145	31

La tabla 4.15 muestra los valores del máximo contenido de finos admitido de acuerdo a la (ISO 13503-2, 2006), para cada tamaño de arena y la esfuerzo del ensayo de triturabilidad.

Tabla 4.15. Contenido máximo de finos permitido de acuerdo a la Norma ISO 13503-2, del ensayo de Resistencia a la triturabilidad, para diferentes granulometrías

Tamaño Arena	Carga de la Celda		Esfuerzo		Máximo contenido sugerido de finos (% en peso)
	lb	kN	psi	MPa	
6/16	6,283	28	2.000	14	20
8/16	6,283	28	2.000	14	18
12/20	9,425	42	3.000	21	16
16/30	9,425	42	3.000	21	14
20/40	12,566	56	4.000	28	14
30/50	12,566	56	4.000	28	10
40/70	15,708	70	5.000	35	8
70/140	15,708	70	5.000	35	6

Esto indica que la roca estudiada con una granulometría entre el rango de tamaño 20/40, al arrojar una triturabilidad promedio de 35%, se encuentra un 21% por encima del promedio de los límites permisibles de contenido de finos para la arena apuntalante y grava para frac pack, luego de ser sometidos a los niveles de esfuerzo mínimo de 13,80 MPa y máximo de 34,5 MPa.

Es resultado obtenido, se puede justificar por a la dureza de los minerales con mayor abundancia presentes en las muestras. Se logró establecer que el cuarzo es el más resistente, con una dureza de 7 en la escala de Mohs, por encima de las plagioclasas y los feldespatos con una dureza de 6, que al ser sometidas a compresión los minerales más débiles tienden a fracturar y posteriormente a pulverizar.

4.3. Caracterización del frente “Mina 2”, para balasto

4.3.1. Granulometría inicial

Se clasificó granulométricamente la muestra representando los tamaños establecidos por el Instituto de Ferrocarriles del Estado (IFE) (mallas 3”, 2”, 1 ½”, 1”, ¾” y ½”), en la

figura 4.21 se muestran los resultados, donde se encuentra resaltadas las mallas 1" y 3/4" debido a que estos tamaños fueron los utilizados para los posteriores ensayos mecánicos.

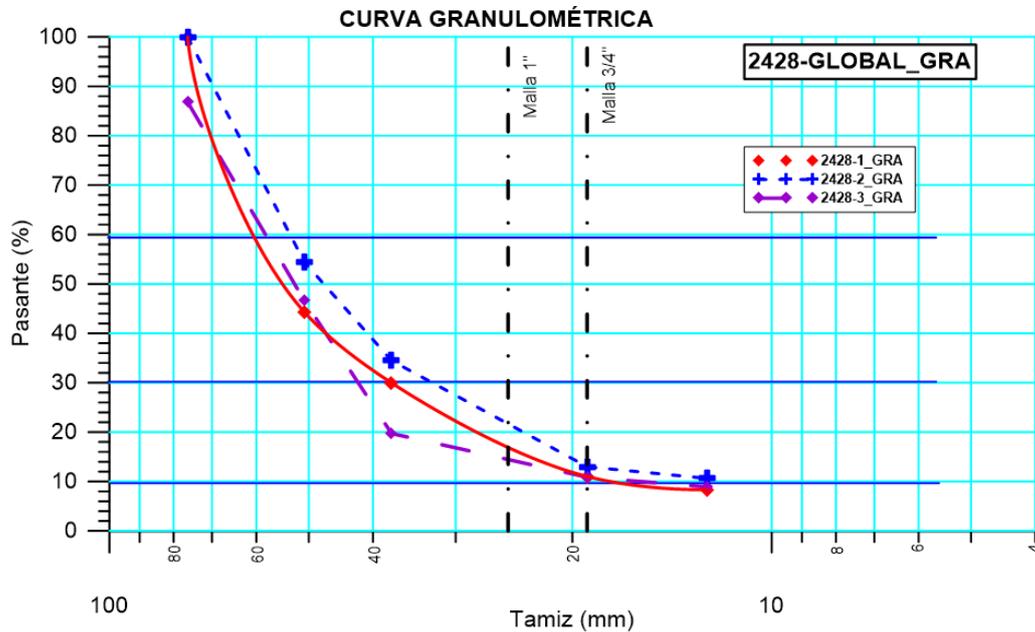


Figura 4.21. Curva granulométrica inicial de las muestras

4.3.2. Ensayo de los Ángeles

Para que una roca clasifique como balasto ferroviario, un requisito imprescindible es que sean resistentes al desgaste y degradación, como resultado de la acción del impacto que producen los vehículos. Este efecto producido en la roca puede determinarse a través del ensayo de los Ángeles, cuantificando el porcentaje de desgaste de la piedra, conociéndose como Coeficiente de Desgaste de los Ángeles (CLA).

En las siguientes tablas 4.16, se muestran los resultados obtenidos al someter una muestra a una carga abrasiva de 12 esferas a 500 revoluciones.

Según la norma ASTM C-131 y C-535 aprobada por el Instituto de Ferrocarriles del Estado (IFE), establece que el porcentaje máximo de desgaste en el balasto no deberá ser mayor al 18% en peso.

Tabla 4.16. Resultados ensayo Los Ángeles, 2428

Muestra 2428: Carga 12 ; Revoluciones: 500				
Tamiz N°		Tamiz (mm)	Porciones de la muestra	
Pasa	Retiene		Inicial	Final
1 1/2'	1'	25	2.500	1294,3
1'	3/4'	19	2.500	1025,4
3/4'	1/2'	12.5		595,7
1/2'	3/8'	9.51		240
3/8'	1/4'	6.35		207,9
1/4'	N° 4	4.76		103,3
Masa inicial de la muestra (g)			5.000	
Masa final de la muestra Ret #12 (1,68 mm) (g)			-	265,8
Pérdida de masa de la muestra (%)			25,35	

En promedio, el porcentaje de pérdida de masa de las muestras se encuentra en un 25,35 %, siendo un resultado mayor al que establece la norma. Esto quiere decir que la roca no es resistente a acciones de: abrasión, impacto y trituración, por lo que no podría cumplir con efectividad su función como balasto.

4.3.3. Ensayo Micro-Deval

Este ensayo mecánico mide el desgaste en húmedo de la roca estudiada. Para nuestro caso se estudiarán tres muestras de 1.500 gr cada una, más $2 \pm 0,05$ litros de agua, utilizando esferas de acero de 5.000 ± 5 g a 100 ± 5 revoluciones (RPM), por un tiempo de $2h \pm 1$ min. Los resultados obtenidos se muestran en las tablas 4.17, 4.18 y 4.19.

Tabla 4.17. Resultados ensayo Micro Deval, 2428-1

Muestra 2428-1			
Tamiz N°		RETENIDO INICIAL (gr)	RETENIDO FINAL (gr)
Pasante	Retenido		
2'	1 1/2'		
1 1/2'	1'	750	560
1'	3/4'	750	553,1
3/4'	5/8'		184,4
5/8'	1/2'		25,5
1/2'	3/8'		15,6
3/8'	1/4'		17
1/4'	N° 4		6,2
N° 4	N° 10		5,7
N° 8	N° 20		0
Peso total (g)		1.500	1.367,5
Degradación por ensayo Micro Deval (%)			8,83

Tabla 4.18. Resultados ensayo Micro Deval, a 2428-2

Muestra 2428-2			
Tamiz N°		RETENIDO INICIAL (gr)	RETENIDO FINAL (gr)
Pasante	Retenido		
2'	1 1/2'		
1 1/2'	1'	750	649,1
1'	3/4'	750	393,1
3/4'	5/8'		220,4
5/8'	1/2'		47,5
1/2'	3/8'		24,7
3/8'	1/4'		24,6
1/4'	N° 4		5,5
N° 4	N° 10		3,1
N° 8	N° 20		0
Peso total (g)		1.500	1.368
Degradación por ensayo Micro Deval (%)			8,8

Tabla 4.19. Resultados ensayo Micro Deval, 2428-3

Muestra 2428-3			
Tamiz N°		RETENIDO INICIAL (gr)	RETENIDO FINAL (gr)
Pasante	Retenido		
2'	1 1/2'		
1 1/2'	1'	750	741,3
1'	3/4'	750	466,1
3/4'	5/8'		85,4
5/8'	1/2'		15,6
1/2'	3/8'		10,11
3/8'	1/4'		8,4
1/4'	N° 4		3,4
N° 4	N° 10		1,4
N° 8	N° 20		0
Peso total (g)		1.500	1.331,71
Degradación por ensayo Micro Deval (%)			11,22%

En la figura 4.22, se puede observar el estado previo de las muestras al ensayo, donde el hábito de fractura es angular. Una vez realizado el procedimiento, la angularidad de la roca disminuye notoriamente, dando como resultado una roca más redondeada, similar al canto rodado. Para las tres muestras, este efecto fue el mismo.

Para las tres muestras, el promedio de degradación por ensayo Micro Deval es de 9,61%. En la norma ASTM D-6928 se establece un límite máximo permitido de 10%

para balasto, por lo que la muestra cumpliría satisfactoriamente con los parámetros referentes

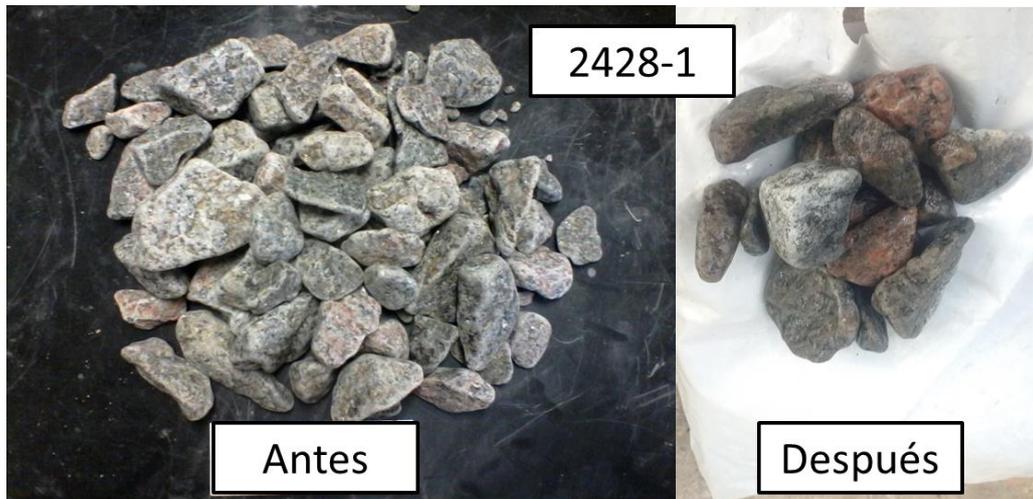


Figura 4.22. Muestra inicial y final al ensayo Micro Deval

4.3.4. Resistencia a la compresión uniaxial de la roca

Torres C. (2015) en un estudio geológico – geotécnico del área de explotación frente Mina 2 realizado para constructora *PEDECA C.A. Cantera Bolívar*, donde se ejecutaron ensayos de compresión uniaxial a seis (6) muestras de roca recolectadas en el macizo rocoso. El valor promedio para el material es de 164.79 MPa, con un máximo valor de 174,74 MPa y un mínimo de 154.83 MPa (tabla 4.20). Lo que corresponde a una valoración de 12 para todo el material rocoso de la mina, en cualquiera de los límites antes señalados.

Tabla 4.20. Resultados de los ensayos físico-mecánicos

MUESTRA	RESISTENCIA COMPRESIÓN SIMPLE (UNE 22-185)	
	kg/cm ²	MPa
1	1.732	169,85
2	1.790	175,54
3	1.600	156,91
4	1.620	158,87
5	1.640	160,83
6	1.700	166,71
Promedio	1.680,34	164,79
Desviación Standard	73,22	7,18
Intervalo de Confianza (95%)	1.578,85 – 1.781,81	1.54,83 -1.74,74

4.4. Estimación del material aprovechable

El cálculo del volumen de material disponible en Cantera Bolívar, se realizó mediante el método de los perfiles, con la topografía entregada por la empresa. Se tomó en cuenta la Cota 90 como la más baja de la cual se tiene información y como límite los linderos de la concesión minera. El eje principal de los perfiles se seleccionó considerando la mayor longitud posible a lo largo de los límites estipulados, y a partir de este se realizaron 22 perfiles perpendiculares, distanciados entre sí por 20 m (Figura 4.23).

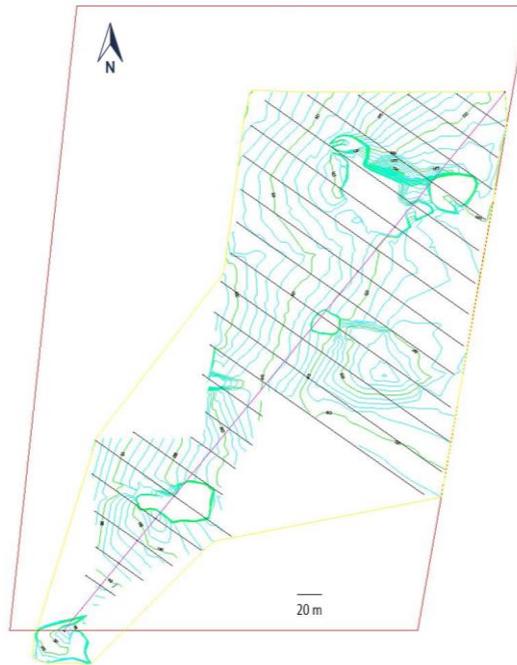


Figura 4.23. Método de los perfiles en el área de concesión minera Cantera Bolívar

Con ayuda de herramientas de dibujo CAD, se determinó el área de cada perfil, para luego poder calcular el volumen de los recursos disponibles, presentes en Cantera Bolívar, tabla 4.21.

Tabla 4.21. Valores de área y volumen, método de los perfiles

Perfil	Longitud	Área	Volumen
1	60,00	1.449,88	72.494,00
2	97,27	2.558,01	240.214,00
3	182,87	4.492,54	385.954,50
4	240,16	6.453,10	509.537,50
5	281,84	7.475,30	511.896,75
6	282,42	5.525,27	330.655,00
7	92,62	2.175,66	171.571,50
8	96,67	2.511,54	216.955,00
9	122,70	3.655,12	536.486,50
10	440,52	14.149,22	1.091.296,25
11	469,37	15.353,41	1.168.861,75
12	488,06	16.047,65	1.193.430,25
13	459,34	15.641,91	1.159.689,50
14	447,30	15.103,76	1.143.899,75
15	460,04	15.548,47	1.171.067,75
16	477,32	15.745,77	1.175.913,75
17	473,96	15.545,01	1.143.278,25
18	446,77	14.641,11	1.070.586,25
19	386,89	13.541,23	722.528,50
20	269,94	1.818,68	227.839,25
21	184,30	5.476,21	280.169,00
22	97,47	254,34	6.358,50
		Total	14.530.683,50

Se puede observar que el volumen total es de 14.530.683,50 m³. Considerando una densidad de roca de 2,5 tn/m³, la cantidad de material en toneladas estaría en el orden de los 36.326.708,75. Para motivos de esta investigación, la cantidad de material que se manejó fue para 8 años y 8 meses englobados en una planificación a mediano plazo, para una producción anual de 60.000 m³, esto debido a los requerimientos planteados por la empresa.

4.5. Criterios operativos de la explotación

4.5.1. Estudio geotécnico

(Torres, 2015), en el estudio geotécnico del área de explotación minera realizado para constructora PEDECA C.A. Cantera Bolívar, establece una serie de parámetros geotécnicos para determinar la estabilidad de los taludes presentes para la época, este estudio nos da una certeza de la calidad del macizo rocoso. A continuación se describen los resultados de dicho estudio.

4.5.1.1. Índice de calidad de la roca (RQD)

El RQD se estimó midiendo la cantidad de discontinuidades en 1 m del talud.

4.5.1.2. Espaciamiento de discontinuidades

Se midió *in situ* y que corresponden únicamente con diaclasas. La tabla 4.22 muestra un resumen de los valores obtenidos.

Tabla 4.22. Resumen de la aplicación del método RMR de Bienaswki.

ZONA	VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)											
	R. C. U (MPa)	RQD (%)	ESPACIAMIENTO (m)	CONDICIÓN DE JUNTAS					AGUA SUBTERRÁNEA	RMR	CLASE	DESCRIPCIÓN
				PERSISTENCIA (m)	APERTURA (mm)	RUGOSIDAD	RELLENO	ALTERACIÓN				
1	154,83	100	3	4	1	Lig. Rugosa	Limpia	Sana	Seco	85	I	Muy Bueno
2	154,83	100	1	3	1	Lig. Rugosa	Limpia	Sana	Seco	80	II	Bueno
3	154,83	100	2	4	1	Lig. Rugosa	Limpia	Sana	Seco	80	II	Bueno
4	154,83	100	3	6	1	Lig. Rugosa	Limpia	Sana	Seco	85	I	Muy Bueno
5	154,83	100	3,5	5	1	Lig. Rugosa	Limpia	Sana	Seco	85	I	Muy Bueno
6	154,83	100	2,5	4	1	Lig. Rugosa	Limpia	Sana	Seco	85	I	Muy Bueno
7	154,83	100	2	3	1	Lig. Rugosa	Limpia	Sana	Seco	80	II	Bueno
8	154,83	100	1	3	1	Lig. Rugosa	Limpia	Sana	Seco	80	II	Bueno
9	154,83	100	2	3	500	Lig. Rugosa	Limpia	Sana	Seco	79	II	Bueno

En la tabla 4.23 se muestra el resumen de la aplicación de la metodología SMR de Romana Ruiz. Y en la figura 4.24 se presentan fotografías de cada una de las zonas estudiadas

Tabla 4.23. Resumen de la aplicación del método SMR de Romana

ZONA	SMR	CLASE	DESCRIPCIÓN	ESTABILIDAD
1	79,9	II	Bueno	Estable
2	79,1	II	Bueno	Estable
3	79,1	II	Bueno	Estable
4	84,1	I	Muy Bueno	Completamente Estable
5	84,1	I	Muy Bueno	Completamente Estable
6	84,1	I	Muy Bueno	Completamente Estable
7	79,1	II	Bueno	Estable
8	79,1	II	Bueno	Estable
9	78,1	II	Bueno	Estable



Figura 4.24. Zonas estudiadas para la aplicación del método SMR de Romana. Tomado del Estudio Geológico – Geotécnico del área de explotación, realizado por Torres C. 2015 - Constructora PEDECA C.A. Cantera Bolívar

Con este estudio se puede concluir que la clasificación SMR se encuentra entre la clase I y II, factor que indica que el macizo es completamente estable, con baja ocurrencia a roturas y desprendimientos, y por lo tanto no necesita ningún tratamiento. De igual manera el índice RMR indica que la descripción del macizo es muy bueno.

A continuación, con ayuda de estos análisis se desarrollan los distintos parámetros operativos del diseño de la explotación.

4.5.2. Altura de banco

La distancia vertical entre dos niveles se propone que sea igual a 10 metros, de esta forma se ofrecen mayores condiciones de seguridad para el personal y la maquinaria, un mejor control de desviación de los barrenos, mayor control sobre la fragmentación, rapidez en la ejecución de rampas de acceso, menores niveles de vibración y ondas aéreas y excelentes condiciones de restauración de los taludes finales.

4.5.3. Ángulo de talud de trabajo

Para el diseño geométrico de la explotación del frente Mina 2 de Cantera Bolívar, el ángulo de talud de trabajo se estableció los resultados del estudio geotécnico realizado por la empresa, el cual concluyó que el macizo rocoso es completamente estable. Esta información en complemento con la tabla 4.24 de Howard L. Hartman, permite establecer un ángulo de banco de trabajo de 72°, el cual está definido según el tipo y la dureza de la roca.

Tabla 4.24. Inclinações de taludes recomendadas según Howard L. Hartman “Introductory Mining Engenieering”

Tipo de roca	Relación	Inclinación
Rocas duras	1/3 o 1/2:1	72° a 63°
Banco de mineral de hierro	1/2 o 2/3:1	63° a 56°
Talud final en mineral de hierro	1:1	45°
Banco mineral de cobre	3/5:1	60°
Talud final en mineral de cobre	1 ½ :1	34°

4.5.4. Ancho mínimo operativo

Este parámetro se definió a partir de: la suma de los espacios necesarios para la movilidad de la maquinaria que trabaja en el frente de explotación de manera simultánea (radio de giro), la respectiva distancia y berma de seguridad, tabla 4.25.

Los equipos descritos a continuación, son los disponibles por Cantera Bolívar a la fecha.

- **Equipo de perforación**

(1) Perforadora, marca WOLF, modelo: MW5000E.

- **Equipo de carga**

(1) Excavadora CATERPILLAR 345 LME, radio de giro 3,65 m

- **Equipo de acarreo**

- (1) Camión articulado CATERPILLAR D-400, ancho 3,3 m
- (2) Camiones articulado TEREX TA-30, ancho 2,895 m
- (1) Camión articulado CATERPILLAR D-30C, ancho 3,3 m

Tabla 4.25. Especificaciones Operativas

Especificaciones Operativas	
Ancho del equipo de acarreo (m)	3,3
Radio de giro del equipo de carga (m)	3,65
Berma de seguridad	1
Distancia de seguridad (m)	4
Ancho mínimo operativo (m)	15,25

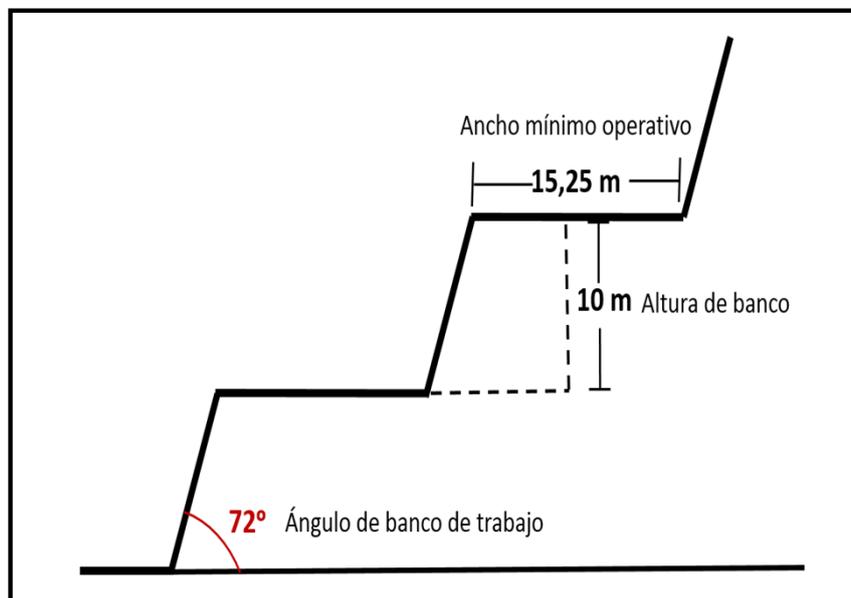


Figura 4.25. Diseño geométrico de los bancos operativos

4.5.5. Angulo de banco final

Este ángulo se calculó con un valor de ancho de berma de 6,5 m, un ángulo de talud trabajo de 72° y una altura de banco de 10 m. Tomando en cuenta estos tres factores se determinó un ángulo de pit final de 46° . En la figura 4.26, se aprecia cada uno de los parámetros que conforman el pit final.

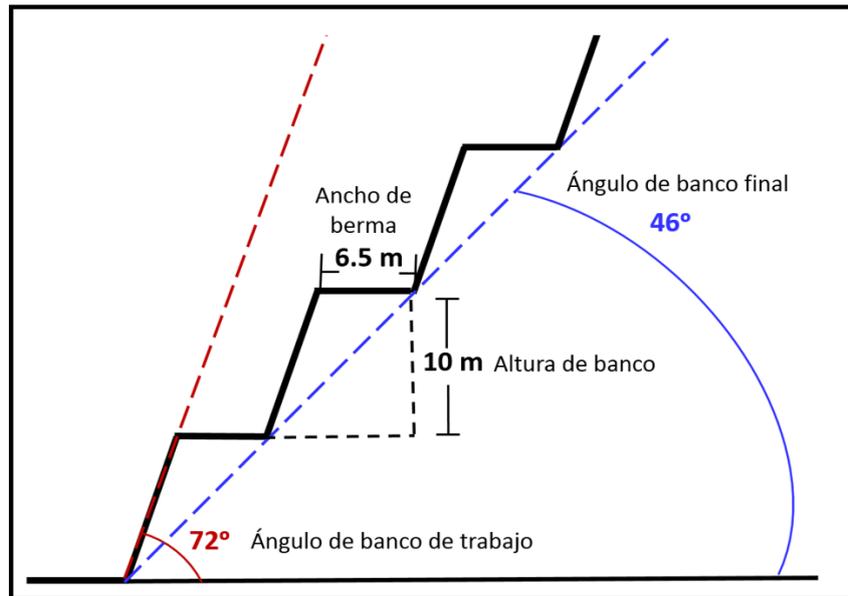


Figura 4.26. Diseño geométrico de los bancos finales

4.5.6. Vías y rampas de acceso

En el diseño de las vías hay que considerar, en relación con las unidades de transporte que se utilicen, una serie de parámetros que sin perder el ritmo de operación las hagan seguras. El ancho de estas rutas se estima según las dimensiones de los equipos seleccionados para la operación de acarreo y las distancias de seguridad. Se toman en cuenta las dimensiones de: los camiones articulados CATERPILLAR D-400 y el CATERPILLAR D-30C ambos con un ancho de 3,3 m, la zanja de sección triangular para el drenaje con unas dimensiones de 0,5 m de ancho y 0,5 m de profundidad, la distancia de seguridad de 1,5 m entre los camiones, y de los camiones al borde de la zanja y la berma de seguridad la cual tendrá un ancho de 1 m y una altura de 1,4 m. La pendiente de la vía no podrá exceder el 10%, al final atendiendo a estos requisitos se tendrá una vía de 12,6 m de ancho como se muestra en la figura 4.27.

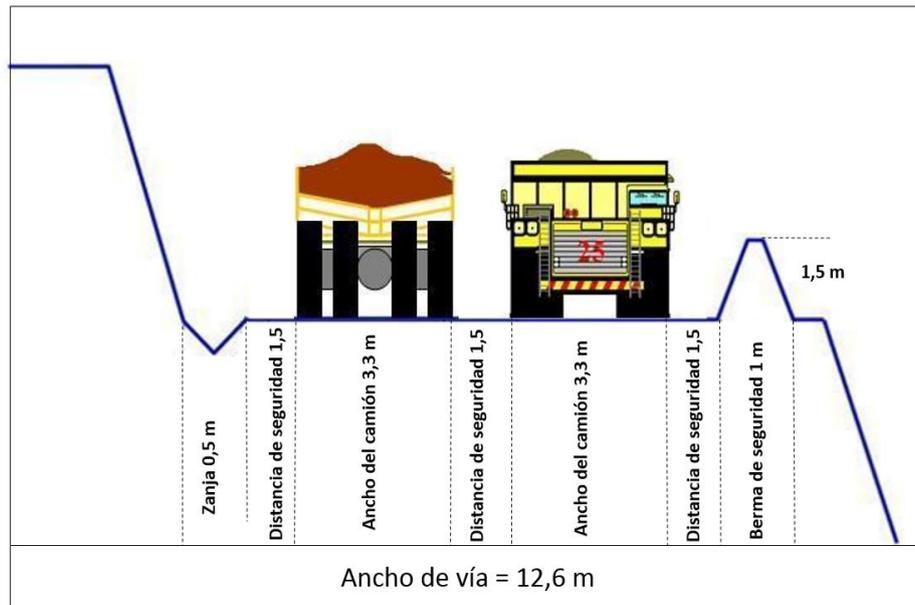


Figura 4.27. Sección transversal del diseño de las vías

4.6. Selección de equipos

Los cálculos pertinentes para la selección de los equipos de carga y acarreo que se adapten a los requerimientos técnicos y productivos pertenecientes a Cantera Bolívar han sido determinados. Los resultados de los equipos a seleccionar se comparan con los resultados que se poseen en la actualidad dentro de la cantera, y con ello se establece si es necesario el reemplazo o adquisición de nueva maquinaria para cumplir con las metas estipuladas.

4.6.1. Producción horaria

La Cantera Bolívar cuenta con un sistema de explotación discontinuo, donde se plantea una producción anual de 60.000 m³. Dentro de su normativa, establece un turno de trabajo de 8 horas. Sin embargo, al descontarle las demoras expresadas en la tabla 4.26, se puede observar que el tiempo efectivo será de 6 horas.

Tabla 4.26. Cáculo del tiempo efectivo

Demoras inicio de turno	30 min
Demoras previo comida	20 min
Tiempo de comida	30 min
Demoras de re-inicio	20 min
Demoras fin de turno	20 min
TOTAL DEMORAS/TURNO	120 min
TIEMPO TOTAL/TURNO	8 horas
DEMORAS OPERATIVAS	2 horas
TIEMPO EFECTIVO/T	6 horas

Con los datos de la tabla 4.27, se determinó una producción horaria de 76,02tn/h.

Tabla 4.27. Caculo de la producción horaria

Densidad material suelto (tn/m³)	1,49
Producción anual (tn)	89.400
Días laborables	245
Turno efectivo (hrs)	6
Eficiencia	0,8
PRODUCCIÓN HORARIA (tn/h)	76,02

4.6.2. Selección de equipos de carga y acarreo

En la actualidad Cantera Bolívar dentro de su flota cuenta con dos equipos de carga con las especificaciones representadas en la tabla 4.28. Siendo el cargador frontal CAT 962 G usado únicamente para el despacho del material. Para los futuros cálculos, se considera que la excavadora CAT 345 LME posee una capacidad colmada de 3,5 m³.

Tabla 4.28. Especificaciones de los equipos de carga de Cantera Bolívar

Equipo de carga	Marca	Modelo	Capacidad colmada (m³)	Factor de llenado: 90%
Excavadora	Caterpillar	345 LME	3,5	3,15
Cargador frontal	Caterpillar	962 G	2,8	2,52

Respecto a las condiciones teóricas, se consideró que el tiempo que tarda la excavadora en recoger y depositar el material en el camión es de 1 minuto. Determinándose que la capacidad nominal del balde debería de ser de 1,3 m³/ciclo. Sin embargo, para los valores reales, se tomó como primicia la capacidad real del balde de 3,15 m³/ciclo de la excavadora CAT 345 LME presente en la cantera, y con ello se calculó un tiempo de ciclo de 2,13 minutos, tabla 4.29. Esto quiere decir que las dimensiones reales del balde del equipo de carga son mayores que las teóricas, y que el equipo puede alcanzar una producción horaria mayor que 76,02 tn/h.

Tabla 4.29. Capacidad nominal del balde teórica y real del equipo de carga

	Teórico	Real
Producción horaria (tn/h)	76,02	
Tiempo de ciclo (min)	1	2,13
Ciclo/hora	43,2	20,25
Carga útil (tn)	1,76	3,75
Volumen útil (m³)	1,18	2,52
CAPACIDAD NOMINAL DEL BALDE (m³/ciclo)	1,3	3,15

La combinación apropiada usa 3 a 6 pases para cargar un camión. En la tabla 4.30 se describen los distintos equipos de acarreo disponibles en Cantera Bolívar, y la capacidad de los mismos con un factor de llenado del 80%. Para la determinación del

número de pases o cucharadas para cada uno de ellos, se dividió su capacidad entre el equipo de carga, considerando la densidad del material suelto. En la misma tabla se puede observar que las mejores combinaciones son entre la excavadora CAT 345 LME, y los camiones TEREX TA-30 y CAT D30C con 4 pases, y con el camión CAT D-400 con 6 pases.

Tabla 4.30. Especificaciones de los equipos de acarreo en Cantera Bolívar

Equipo de acarreo	Marca	Modelo	Capacidad colmada (m ³)	Factor llenado: 80%	N° baldes excavadora
Camión roquero articulado	Caterpillar	D-400	23,5	18,8	6
Camión roquero articulado	TEREX	TA-30	17,5	14	4
Camión roquero articulado	TEREX	TA-30	17,5	14	4
Camión roquero	Caterpillar	D30C	17,2	13,8	4

4.6.3. Número de camiones necesarios

Como primer paso, asumiendo que el equipo de carga no tiene tiempos de espera y para una cantidad promedio de 5 pases por camión, se estimó el tiempo de ciclo de la pala de 5 minutos. La distancia del frente de explotación a la planta es de aproximadamente 700 metros, y para el cálculo de los tiempos de viaje del camión, se estableció una velocidad de 20 km/h mientras va cargado y una velocidad de 30 km/h cuando el camión está vacío. Con ello, se estimó un tiempo teórico de ciclo de 8,5 minutos. Considerando un tiempo de ciclo asociado a la capacidad nominal real del balde, se estimó un tiempo de ciclo de 14,2 minutos. Tabla 4.31

Tabla 4.31. Cálculo del tiempo de ciclo de carga y acarreo, teórico y real

	Teórico	Real
Tiempo ciclo pala (min)	5	10,7
Tiempo viaje cargado (min)	2,1	2,1
Tiempo viaje descargado (min)	1,4	1,4
TIEMPO DE CICLO (min)	8,5	14,2

Para corroborar sí la cantidad actual de camiones en la cantera es la necesaria para poder cumplir con la producción horaria estimada, se procedió a determinar cuantitativamente los camiones mediante el tiempo del ciclo de acarreo y el ciclo del cargador (teórico y real). En la tabla 4.32 se puede observar que para la excavadora CAT 345 LME es necesaria una cantidad de 1 camión para un ciclo de acarreo teórico y 2 camiones para un ciclo real.

Tabla 4.32. Cálculo número de camiones teórico y real

	Teórico	Real
Ciclo de acarreo (min)	8,5	14,2
Ciclo de carga (min)	1	2,13
N° pases promedio	5	5
Número de camiones	2	1

Por ello, Cantera Bolívar al contar con 4 camiones en su flota, teóricamente puede cumplir con 2 de ellos, el requerimiento de la cantidad de camiones necesaria, y con el restante, asegurar la reducción del tiempo de espera de excavadora mientras se reestablece el ciclo de acarreo.

Es importante señalar que estos cálculos se realizaron sin considerar la disponibilidad mecánica de ninguno de los equipos debido a la falta de dicha información por parte de la empresa. En consecuencia, estos valores están sujetos a cambio en la realidad, respecto a las condiciones operativas de cada equipo.

4.7. Perforación y voladura

4.7.1. Secuencia de explotación

Es necesario realizar voladuras controladas en bancos para generar la primera fragmentación del macizo rocoso y de esta forma poder trasladar las fracciones reducidas con la ayuda de los equipos de carga y acarreo hasta la próxima etapa de trituración y molienda en planta. Para lograr esta rotura es necesario determinar el patrón de perforación y voladura efectivo, se realiza el cálculo teórico de los parámetros básicos, tomando en cuenta el aumento de la producción en la cantera, se espera que sea de 60.000 m³ anual. Para lograr esta meta, se plantea la siguiente secuencia de explotación (tabla 4.33), donde el avance se realizó por bancos de 10 metros de altura. Para llegar al primer banco es necesario remover 23.700,77m³ de material, proceso que se culminaría en 5 meses. Seguidamente, el segundo banco estará conformado entre la cota 120 y 110, con un volumen total a remover de 162.435,40m³ en 2 años y 2 meses. Y así sucesivamente con el banco N° 3 y N° 4.

Tabla 4.33. Cantidad y duración del material a remover

Banco N°	Material extraído (m³)	Material acumulado (m³)	Cota	Duración
1	23.700,77	23.700,77	120	5 meses
2	138.734,63	162.435,40	110	2 años y 4 meses
3	208.820,87	371.256,27	100	3 años y 6 meses
4	143.231,14	514.487,41	90	2 años y 5 meses
			TOTAL	8 años y 8 meses

4.7.2. Cálculo de los parámetros de voladura

La roca tiene una densidad en banco promedio de 2,5 tn/m³. Para la ejecución de las voladuras se hicieron los cálculos tomando en consideración que los explosivos a utilizar serán ANFO con una densidad de 0,8 g/cm³ y emulsiones de densidad 1,16 g/cm³.

Para el primer banco, es necesaria la remoción de 23.700,77m³ de material, la cual se realizará mediante dos voladuras de 11.850 m³. En la figura 4.28 se observa que cada barreno tendrá un diámetro de perforación de 0,0875 m (3 ½ pulgadas), un retiro de 3 metros y un espaciamiento de 3 metros. Arrojando un factor de carga de 0.50 kg/m³, para 132 barrenos por perforar.

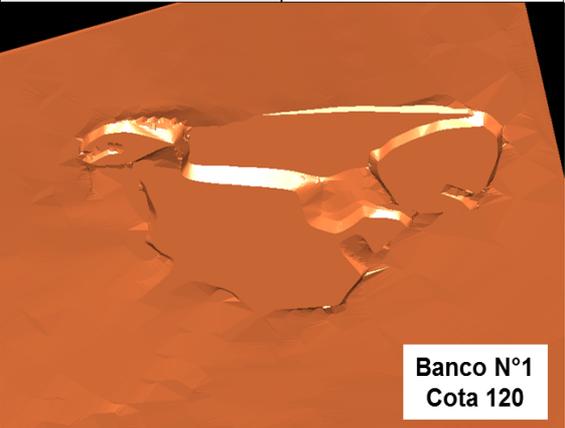
PERFORACIÓN Y VOLADURA			Volumen total a remover (m ³)	23.700,77
Parámetro	Valor	Unidad	Cantidad de voladuras	2
Diámetro Perforación (Øb)	0,0875	m		Banco N°1 Cota 120
Retiro (B)	3	m		
Espaciamiento (S)	3	m		
Sobre-Perforación (Sp)	1	m		
Taco (T)	2	m		
Altura Banco (H)	10	m		
Longitud Perforación (L)	11	m		
Altura Columna (hc)	5,2	m		
Altura Fondo (hf)	3,78	m		
Carga Lineal (Q)	6,01	kg/m		
Carga Columna (Qc)	31,36	kg (anfo)		
Carga Fondo (Qf)	18,34	kg (emulsión)		
Carga Total (Qt)	49,7	kg		
Volumen Barreno (Vb)	90	m ³		
Volumen Voladura (Vv)	11.850	m ³		
Número de Barrenos (N° b)	132	-		
Factor de Carga (Fc)	0,50	kg/m ³		

Figura 4.28. Parámetro de perforación y voladura para el Banco N°1

Para las siguientes voladuras los parámetros permanecen constantes. El segundo banco (Figura 4.29), varía en el volumen total a remover, siendo de 138.734,63 m³. Para ello será necesario realizar 10 voladuras de 13.0873 m³ de 154 barrenos cada una.

PERFORACIÓN Y VOLADURA			Volumen total a remover (m ³)	138.734,63
Parámetro	Valor	Unidad	Cantidad de voladuras	10
Diámetro Perforación (Øb)	0,0875	m		Banco N°2 Cota 110
Retiro (B)	3	m		
Espaciamiento (S)	3	m		
Sobre-Perforación (Sp)	1	m		
Taco (T)	2	m		
Altura Banco (H)	10	m		
Longitud Perforación (L)	11	m		
Altura Columna (hc)	5,2	m		
Altura Fondo (hf)	3,78	m		
Carga Lineal (Q)	6,01	kg/m		
Carga Columna (Qc)	31,36	kg (anfo)		
Carga Fondo (Qf)	18,34	kg (emulsión)		
Carga Total (Qt)	49,7	kg		
Volumen Barreno (Vb)	90	m ³		
Volumen Voladura (Vv)	13.873	m ³		
Número de Barrenos (N° b)	154	-		
Factor de Carga (Fc)	0,50	kg/m ³		

Figura 4.29. Parámetro de perforación y voladura para el Banco N°2

El tercer banco consta de un volumen de remoción de 208.280,87 m³, y para ello será necesario realizar 15 voladuras de 13.921 m³ de 155 barrenos (Figura 4.30).

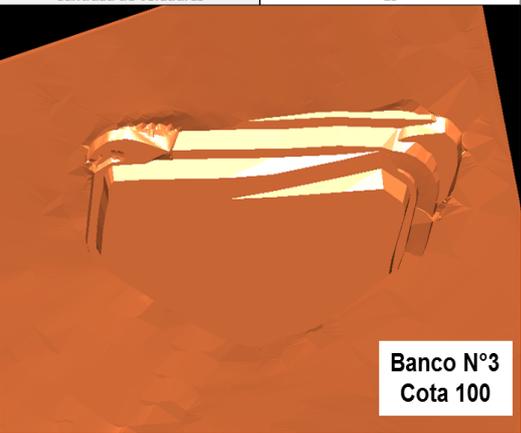
PERFORACIÓN Y VOLADURA			Volumen total a remover (m ³)	208.820,87
Parámetro	Valor	Unidad	Cantidad de voladuras	15
Diámetro Perforación (Øb)	0,0875	m		Banco N°3 Cota 100
Retiro (B)	3	m		
Espaciamiento (S)	3	m		
Sobre-Perforación (Sp)	1	m		
Taco (T)	2	m		
Altura Banco (H)	10	m		
Longitud Perforación (L)	11	m		
Altura Columna (hc)	5,2	m		
Altura Fondo (hf)	3,78	m		
Carga Lineal (Q)	6,01	kg/m		
Carga Columna (Qc)	31,36	kg (anfo)		
Carga Fondo (Qf)	18,34	kg (emulsión)		
Carga Total (Qt)	49,7	kg		
Volumen Barreno (Vb)	90	m ³		
Volumen Voladura (Vv)	13.921	m ³		
Número de Barrenos (N° b)	155	-		
Factor de Carga (Fc)	0,50	kg/m ³		

Figura 4.30. Parámetro de perforación y voladura para el Banco N°3

El banco final, ubicado en la cota 90 tiene un volumen total de 143.231,14 m³, para ser removidos en 10 voladuras de 14.323 m³ y 159 barrenos respectivamente (Figura 4.31). Siendo este el cuarto y último banco, se culmina la planificación del proyecto de 8 años y 8 meses.

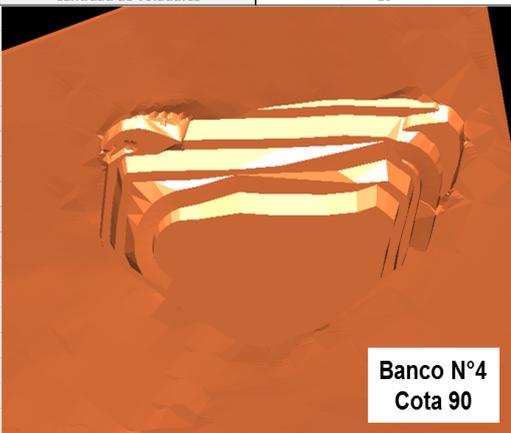
PERFORACIÓN Y VOLADURA			Volumen total a remover (m ³)	143.231,14
Parámetro	Valor	Unidad	Cantidad de voladuras	10
Diámetro Perforación (Øb)	0,0875	m		Banco N°4 Cota 90
Retiro (B)	3	m		
Espaciamiento (S)	3	m		
Sobre-Perforación (Sp)	1	m		
Taco (T)	2	m		
Altura Banco (H)	10	m		
Longitud Perforación (L)	11	m		
Altura Columna (hc)	5,2	m		
Altura Fondo (hf)	3,78	m		
Carga Lineal (Q)	6,01	kg/m		
Carga Columna (Qc)	31,36	kg (anfo)		
Carga Fondo (Qf)	18,34	kg (emulsión)		
Carga Total (Qt)	49,7	kg		
Volumen Barreno (Vb)	90	m ³		
Volumen Voladura (Vv)	14.323	m ³		
Número de Barrenos (N° b)	159	-		
Factor de Carga (Fc)	0,50	kg/m ³		

Figura 4.31 Parámetro de perforación y voladura para el Banco N°4

4.7.3 Patrón de perforación e iniciación

En las voladuras en banco, habitualmente, los esquemas utilizados son cuadrados o rectangulares debido a la facilidad de replanteo de los puntos de perforación. No obstante, los esquemas más efectivos son los denominados al tresbolillos, ya que es el que proporciona la mejor distribución de la energía del explosivo en la roca y permite obtener una mayor flexibilidad en el diseño de la secuencia de encendido y dirección de salida de la voladura, produciendo una mejor fragmentación, por este motivo se seleccionó un esquema triangular o tresbolillos.

Se seleccionó en primera instancia conectores de 17 ms de retardo según la ecuación 3.34 comenzando la detonación por el centro de la primera fila y se realiza el cálculo de los conectores a la izquierda y a la derecha, siguiendo una configuración en v según los disponibles en el mercado, tal como se muestra en la figura 4.32.

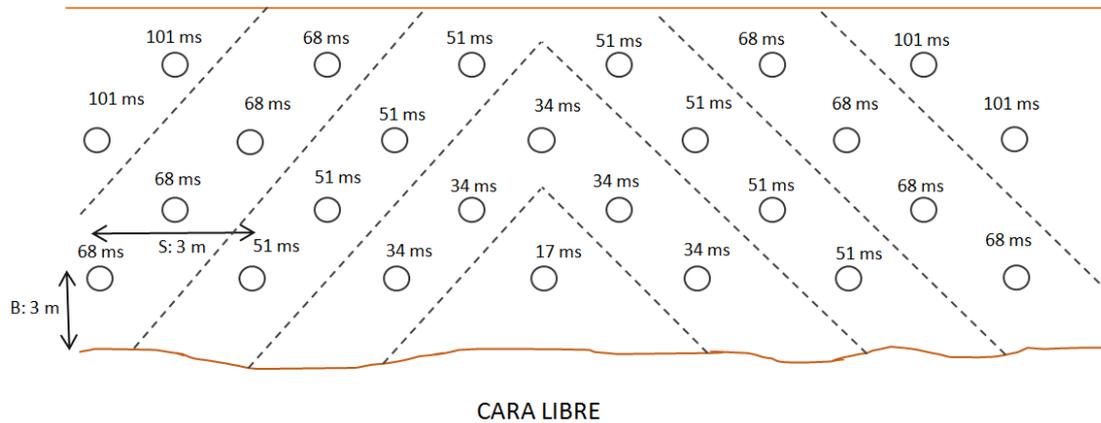


Figura 4.32 Patrón de disparo en v

4.7.4 Requerimiento de los explosivos

Considerando la configuración de la malla de perforación, en la tabla 4.34 se observan por nivel las dimensiones respectivas y los barrenos necesarios por voladura. Para generar el primer banco, se tendrá una distribución de 132 barrenos en 4 filas, para 2 voladuras.

Para el segundo banco, se calcularón 154 barrenos distribuidos en 3 filas, para 10 voladuras. El tercer banco contará con 155 barrenos en 2 filas, para el total de las 15 voladuras. Por último, el desarrollo del cuarto banco serán necesarias 10 voladuras, con un total de 159 barrenos en 3 filas respectivamente.

Tabla 4.34. Dimensiones del área de explotación

	Banco N°1	Banco N°2	Banco N°3	Banco N°4
Volumen (m ³)	23.700,77	138.734,63	208.820,87	143.231,14
Profundidad (m)	10,00	10,00	10,00	10,00
Área (m ²)	1.185,04	1.387,35	1.392,14	1.432,31
Ancho (m)	11,04	9,37	7,05	8,46
Largo (m)	107,36	148,00	197,51	169,40
Barrenos por fila	36	49	66	56
Filas	4	3	2	3
Total barrenos	132	154	155	159
N° voladuras	2	10	15	10
Total metros perforación (m)	1.316,71	1.541,50	1.546,82	1.591,46

Para poder efectuar la voladura, y considerando un total de 5.717 barrenos, se observa en la tabla 4.35 que a lo largo de la planificación de 8 años y 8 meses, aproximadamente serán necesarios 8.965 sacos de ANFO, 4.193 cajas de emulsión y 5.716 piezas de Booster.

Tabla 4.35. Cálculo de los explosivos y accesorios de la voladura

	Banco N°1	Banco N°2	Banco N°3	Banco N°4	TOTAL
Total barrenos	263	1.541	2.320	1.591	5.717
Sacos de ANFO (20 kg)	413	2.417	3.639	2.496	8.965
Cajas de Emulsión (25 kg)	193	1.131	1.702	1.167	4.193
Accesorios					
Booster	263	1.541	2.320	1.591	5.716
Det. Exel Handidet	263	1.541	2.320	1.591	5.716
Det. Nonel	2	2	2	2	8
Conect.	6	6	6	6	24
Fulminates # 8	2	2	2	2	8
Mecha de Seguridad	2	2	2	2	8

Finalmente, se puede observar en la figura 4.33, el diseño final de la explotación, con los cuatro bancos desarrollados y la distribución de las vías y rampas de acceso.

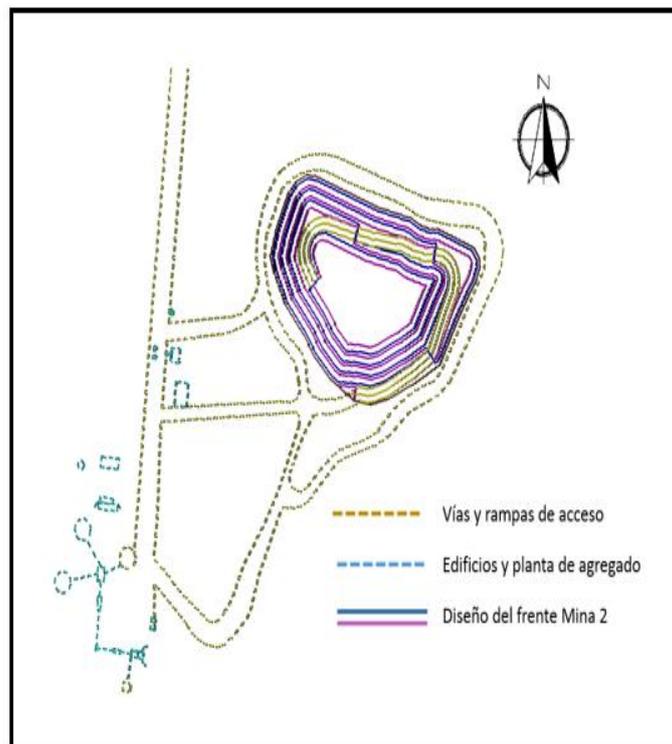


Figura 4.33. Diseño final de las vías y rampas de acceso

4.8. Impactos generados por la actividad

Las explotaciones mineras estarán enmarcadas dentro del desarrollo sustentable como lo indica las distintas normativas que rigen la leyes ambientales venezolanas, así bien se establecen a continuación los distintos impactos negativos que se generan al medio ambiente y social a lo largo de la explotación como parte de la planificación a mediano plazo que se ha desarrollado y desarrollará en Cantera Bolívar.

Tabla 4.36. Cuadro de impactos al sistema físico natural

COMPONENTE	ELEMENTO	IMPACTO	DURACIÓN	CLASIFICACIÓN
Agua	Dinámica fluvial	Alteración de los cursos de agua	Permanente	Moderada
	Sólidos en suspensión	presencia de particulado en el afluente receptor	Permanente	Moderada
	Contaminación	Presencia de sustancias tóxicas que son arrastradas por las corrientes fluviales hasta el cauce receptor	Permanentes	Moderada
Aire	Particulado	Alteración de la calidad del aire por la emisión de particulado	Temporal	Moderada
	Ruido	incremento en el nivel sonoro por el uso de explosivos y maquinaria	Temporal	Moderada
	Gases	Concentración de compuestos químicos gaseosos producto de la combustión de la maquinaria	Temporal	Moderada
Suelo	Erosión	Desgaste de la superficie por la ruptura de la capa vegetal a acción de las aguas de escorrentía	Permanente	Severo
	Compactación	Consistencia y disminución de la permeabilidad de los suelos debido a la consolidación del suelo	Permanente	Moderada
	Contaminación	Sustancias que pueden alterar las condiciones físicas y químicas del suelo	Permanente	Moderada
Relieve	Topografía	Transformación del ecosistema y alteración del paisaje	Permanente	Severo

Tabla 4.37. Cuadro de impactos al sistema Biológico

COMPONENTE	ELEMENTO	IMPACTO	DURACIÓN	CLASIFICACIÓN
Flora	Cobertura vegetal	Remoción de la capa vegetal del suelo	Permanente	Moderada
	Deforestación	Tala de árboles e insuficiente reforestación de las áreas afectadas	Temporal	Moderada
Fauna	Alteración del hábitad	Modificación del entorno físico a causa de la deforestación, ruidos y vibraciones generadas por la explotación	Temporal	Moderada
	Migración de especies	Desplazamiento de la fauna autóctona debido a la destrucción del hábitad	Temporal	Moderada

Tabla 4.38. Cuadro de impactos al sistema Biológico

COMPONENTE	ELEMENTO	IMPACTO	DURACIÓN	CLASIFICACIÓN
Social	Salud	Proliferación de agentes patógenos en aguas estancadas, enfermedades ocupacionales en los trabajadores	Temporal	Moderada
	Seguridad	Riesgo de accidentes laborales	Temporal	Moderada
	Cultural	Impacto visual en las comunidades	Temporal	Moderado

4.8.1. Medidas preventivas, mitigantes y correctivas de los impactos generados

Una vez definidos los impactos generados al medio ambiente y a lo sociocultural, se procede a plantear la propuesta de medidas a llevar a cabo para prevenir, mitigar y corregir tales daños generados al sistema físico natural, biológico y sociocultural.

Físico natural: una vez establecidos los impactos generados en el sistema se procede a las siguientes propuestas para el componente abióticos del sistema:

- **Dinámica fluvial:** se propone la construcción de sistemas de drenajes que permitan dirigir las aguas de escorrentía hacia un punto de captación donde se pueda controlar, dando cumplimiento al Decreto 2220 “Cambio de Flujo, Cauces y Sedimentación” además de la inclinación entre 2% y 4% que permita el escurrimiento hacia la cuneta de desagüe la cual tendrá una sección triangular de 1 m de ancho por 1 m de alto.

- **Sólidos en suspensión:** con el correcto drenaje de las aguas provenientes de las precipitaciones se puede controlar el arrastre de sedimentos hasta el afluente receptor. Decreto 2220 Cambio de Flujo, Cauces y Sedimentación.
- **Contaminación de las aguas:** Se debe realizar el mantenimiento preventivo a la maquinaria para evitar posibles botes de fluidos tóxicos provenientes de la maquinaria fija y móvil a fin de evitar que se transfieran al suelo y luego ser arrastrados a ríos. A fin de dar cumplimiento al Decreto 883 de la normas para la clasificación y el control de calidad de los cuerpos de agua y vertidos o afluentes líquidos.
- **Particulado atmosférico:** se debe realizar el riego programado de las vías de a fin de controlar la emisión de polvo al trasladarse los equipos de carga y acarreo para dar así cumplimiento a la Norma COVENIN 2253 “Concentración Ambiental Permisible (CAP)” y el Decreto 638 sobre la calidad del aire y control de la contaminación atmosférica.
- **Ruido:** se deben realizar estudios que determinen los niveles de ruidos producidos por la actividad ya que el máximo permitido, al que pueden estar sometidos los trabajadores, por la Norma COVENIN 1565:95: “Ruido Ocupacional. Programa de Conservación Auditiva. Niveles Permisibles y Criterios de Evaluación”, es de 85dbA, sin la debida protección auditiva, durante la jornada de trabajo. Utilización de los equipos auditivos correspondientes para el personal, además se deben realizar la voladura de roca con los parámetros ideales para evitar el gran impacto producido, de esta forma dar cumplimiento al Decreto 2217 “Normas sobre el control de la contaminación generada por ruido.
- **Gases:** realizar el mantenimiento preventivo a la maquinaria para evitar la excesiva expulsión de gases tóxicos que disminuyen notablemente la calidad del aire, en cumplimiento con el decreto 638 sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosférica
- **Erosión:** evitar la remoción de la capa vegetal en zonas donde no sea necesario, además se propone el cierre progresivo del frente de explotación, reforestando las áreas cerradas.

Biológico: a continuación se describen las medidas preventivas, mitigantes y correctivas de los componentes bióticos del sistema.

- **Flora:** resguardo de la capa vegetal para la posterior reforestación de la zona afecta del frente de explotación M1 con vegetación de la zona evitando nuevas especies y de ser incorporadas se debe realizar un estudio biológico que

garantice que garantice la supervivencia de la fauna desplazada anteriormente y que estas puedan restablecer su habitad natural.

- **Fauna:** es inevitable el desplazamiento de la fauna con el desarrollo de la explotaciones pero a fin de resguardar las que se encuentra en los alrededores de la explotación, se plantea cada una de las medidas para disminuir la cantidad de ruido y polvo así como la restauración de sus habitad originales al final de la explotación.

Sociocultural: la sociedad ha adquirido mucha fuerza en las actividades mineras debido al gran impacto que generan tanto positivo como negativo para esta, sin embargo acá reflejamos las negativas para proponer su posible prevención, mitigación o corrección.

- **Salud y seguridad:** las enfermedades ocupacionales de los trabajadores son notables debido a que se encuentran expuestos a vibraciones, ruidos y polvo, de esta forma se establece que cada operador debe poseer los correctos instrumentos de seguridad laboral según sea su cargo a desempeñar, según la Norma COVENIN 2237-89 “Ropa, Equipos y Dispositivos de Protección Personal. Selección de acuerdo al Riesgo Ocupacional”, además de las ya mencionadas para el control de polvo, vibraciones y ruidos.
- **Sociocultural:** impactos visuales generados por la remoción de la capa vegetal, y cambios topográficos modificando el paisaje original, para esto se propone la colocación de vegetación espesa que represente una barrera visual. Otro factor que por lo general causa inquietud en la comunidad son las grandes emisiones de polvo no controladas, para la cual se establecieron medidas preventivas. También la presencia de maquinaria pesada en las vías de la zona puede generar daños en su estructura física, para esto se pueden generar lazos que permitan a la cantera contribuir con materia prima para el asfaltado de las vías.

CONCLUSIONES

- Al ejecutar el sondeo del mercado venezolano de los usos industriales propuestos, se identificó una demanda insatisfecha en lo que respecta a las arenas apuntalantes, grava para frac pack y balasto, lo que ayuda a sustentar la necesidad de aumentar la oferta de estos materiales en el mercado.
- Con los resultados obtenidos en la caracterización del yacimiento mineral, a partir de los ensayos de reacción a los ácidos, turbidez, densidades aparente, densidad bulk y triturabilidad se logró determinar que la roca no cumple con los parámetros necesarios para ser usada como arena apuntalante ni grava para frac pack, al igual que para el balasto, según los ensayos de los Ángeles y Micro-Deval.
- Haciendo énfasis en la producción de agregados para construcción, se estimó un volumen de material dentro de los límites de la explotación de 14.530.683,50 m³ con base la cota 90. mediante el método de los perfiles.
- Se estableció un diseño geométrico de explotación en el frente “Mina 2” del tipo “*open pit*”, con los siguientes parámetros: altura de banco de 10 m, ángulo de banco de trabajo de 72°, ángulo de banco final de 46°, ancho de vía de 12,6 m y ancho de berma de 6,5 m.
- Se propuso una secuencia de explotación del frente “Mina 2” de 4 bancos para un periodo de 8 años y 8 meses, con una cantidad de material acumulado de 514.487,41 m³.
- Considerando los equipos actuales en la cantera y asumiendo una eficiencia del 80%, se estimó una cantidad necesaria de 3 camiones y una excavadora para poder cumplir con la producción requerida, concluyendo que los equipos disponibles en la cantera son capaces de cumplir con la meta de producción propuesta.
- Se lograron describir los impactos ambientales, en los sistemas: físico natural, biológico y sociocultural, logrando a partir de estos, la propuesta de medias a llevar acabo, para prevenir, mitigar y corregir tales daños generados.

RECOMENDACIONES

- Generar un modelo geológico con la ayuda de perforaciones que permita, conocer los contactos de las rocas aflorantes, para poder verificar la cantidad real de recursos explotables dentro de la concesión minera.
- Continuar la línea de investigación, evaluando nuevos usos industriales para los que pueda ser factible la roca aflorante en la cantera.
- Desarrollar un estudio de viabilidad económica para este proyecto, ya que los lineamientos que se efectuaron fueron netamente técnicos.
- Realizar el seguimiento de los Indicadores Claves de Producción de los equipos de carga y acarreo, a fin de conocer las respectivas condiciones operativas de los mismos y cómo estas afectan los valores de producción.
- Efectuar el mantenimiento preventivo a la maquinaria, para garantizar su correcto desempeño en las actividades de forma que se pueda realizar la secuencia de explotación en los tiempos estimados en esta investigación.
- Acatar el plan sobre las medidas preventivas, mitigantes y correctivas de los impactos generados por la actividad minera sobre el sistema físico-natural, biológico y sociocultural.
- Realizar mediciones ambientales, con la ayuda de herramientas tecnológicas que permitan, estudiar más adecuadamente los impactos ambientales, como por ejemplo un pluviómetro, un anemómetro y un sonómetro, para determinar la adecuada dimensión de los drenajes para evitar la creación de lagunas en los frentes de explotación, la dirección del particulado atmosférico y el ruido ambiental respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

ISO 13503-2. 2006. *Petroleum and natural gas industries-Completion fluids and materials.* 2006.

Arias, Fidas. 2004. *El proyecto de investigación, introducción a la metodología científica.* Caracas : Editorial Texto, 2004.

Blanco R., Adolfo. 2013. *Formulación y evaluación de proyectos.* Caracas : Ignaka C.A, 2013.

Bustillo Revuelta, Manuel and López Jimeno, Carlos. 1997. *Manual de Explotación y Diseño de Explotaciones Mineras.* Madrid : Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de ___Ingenieros de Minas, 1997.

Chioli, Dario, et al. 2014. *ESTUDIO DE NORMATIVA A APLICAR EN LA CARACTERIZACIÓN DE ÁRIDOS.* La Plata-Buenos Aires : LEMaC, Centro de Investigación Vial. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, 2014.

COVENIN, 1565. 1995. *Ruido Ocupacional. Programa de Conservación Auditiva. Niveles Permisibles y Criterios de Evaluación.* 1995.

COVENIN, 2237. 1989. *“Ropa, Equipos y Dispositivos de Protección Personal. Selección de acuerdo al Riesgo Ocupacional”.* 1989.

COVENIN, 2255. 2001. *“Concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas en lugares de trabajo e índices biológicos de exposición”.* 2001.

Decreto, 1257. 1996. *Normas sobre evaluación ambiental en actividades susceptibles de degradar el ambiente.* Caracas : Gaceta Oficial N°35.946, 1996.

Decreto, 2212. 1993. *Normas sobre movimientos de tierra y conservación ambiental.* Caracas : Gaceta Oficial N° 35.206, 1993.

Decreto, 2216. 1992. *Normas para el manejo de los desechos sólidos de origen doméstico, comercial, industrial o de cualquier otra naturaleza que no sean peligrosos.* Caracas : Gaceta Oficial N° 4.418, 1992.

Decreto, 2217. 1992. *Normas sobre el control de la contaminación generada por ruido.* Caracas : Gaceta Oficial N° 4.418, 1992.

Decreto, 2219. 1992. *Normas para regular la afectación de los recursos naturales renovables asociada a la explotación de minerales.* Caracas : Gaceta Oficial N° 4418, 1992.

Decreto, 2220. 1992. *Normas para regular las actividades capaces de provocar cambios de flujo, obstrucción de cauces y problemas de sedimentación.* Caracas : Gaceta Oficial N° 4.418, 1992.

Decreto, 2226. 1992. *Normas ambientales para la apertura de picas y construcción de vías de acceso.* Caracas : Gaceta Oficial N° 4.418, 1992.

Decreto, 2635. 1998. *Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de Desechos Peligrosos.* Caracas : Gaceta Oficial Extraordinaria N° 5.245, 1998.

Decreto, 638. 1995. *Normas sobre calidad de aire y control de la contaminación atmosférica.* Caracas : Gaceta Oficial N° 4.899, 1995.

Decreto, 883. 1995. *Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos.* Caracas : Gaceta Oficial N° 5.021, 1995.

EFE. 2006. *Norma técnica, construcción de la vía férrea.* Santiago : s.n., 2006.

Gallino, Luis Alejandro, et al. 2002. *Aspectos referidos al dimensionamiento técnico-económico de proyectos mineros de inversión.* Buenos Aires : Banco de proyectos de inversión en minerales no metalíferos (BPIMNM), 2002.

Gómez, Yoel. 2017. *Planificación a largo plazo de la unión de Canteras El Samán y Agua Viva II, ubicado en San Sebastián de los Reyes, estado Aragua.* Caracas : Universidad Central de Venezuela, 2017. Trabajo Especial de Grado.

González Fernández, F. J. and Fuentes Losa, J. 2010. *Ingeniería Ferroviaria.* Madrid-España : Editorial Universidad Nacional, 2010.

INTEVEP. 2016. *Diseño de Fracturamiento Hidráulico, Formación B2-X.68 (Eocenofrac).* Los Teques : PDVSA S.A, 2016. Daños a la Formación y Estimulación de Pozos.

Méndez R, Yusbelys M. 2017. *Planificación a largo plazo de la explotación del frente 04, Cantera Carayaca, ubicada en Tacagua, Distrito Capital .* Caracas : Universidad Central de Venezuela, 2017. Trabajo Especial de Grado.

MIDEPLAN. 2003. *Recomendaciones de diseño para proyectos de infraestructuras ferroviarias.* Santiago : Gobierno de Chile, Sectra, 2003.

Oliveros Rives, A, Lopez Pita, M J and Megía Puente, F. 1977. *Tratado de Ferrocarriles I – Vía.* Madrid-España : Editorial, 1977.

Robles R. Pablo A. 2014. *Sistema de terminación multietapas en un pozo del área de Chicontepec.* Mexico D.F. Universidad Nacional Autónoma de México, 2014. Trabajo Especial de Grado.

Schlumberger. Oilfield Glossary. [Online] [Cited: octubre 08, 2017.]

Torres, Cleves. 2015. *Estudio Geológico-geotécnico del área de explotación .* Ciudad Bolívar : PEDECA C.A, 2015.

Uriostegui Cobos, Victor Eder. 2011. *Fracturamiento Hidráulico en yacimientos de alta permeabilidad.* Mexico D.F. : Universidad Nacional Autónoma de México, 2011. Trabajo Especial de Grado.