

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**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**

Presentado ante la Ilustre

Universidad Central de Venezuela

Por el Br. Gómez, Yoel

Para optar al Título

de Ingeniero de Minas

Caracas, 2017

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

PLANIFICACIÓN A LARGO PLAZO DE LA UNION DE LAS CANTERAS EL SAMAN Y AGUA VIVA II, UBICADO EN SAN SEBASTIAN DE LOS REYES, ESTADO ARAGUA

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Aurora Piña

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Orianna Nieves

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por el Br. Gómez, Yoel

Para optar al Título
de Ingeniero de Minas

Caracas, 2016

DEDICATORIA

A mis padres por darme todo lo posible hasta ahora.

A mis familiares por apoyarme en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

A la ilustre Universidad Central de Venezuela por ser la mejor casa de estudio que cualquiera puede tener y por permitir mi formación dentro de sus instalaciones como profesional.

A mi tutora académica la profesora Aurora Piña quien me brindo su apoyo y su tiempo para la culminación de este proyecto.

A la Dra Katherine Silva por brindarme su apoyo incondicional en todo momento sin importar la circunstancia.

A la Ing Orianna Nieves y todo el personal de la empresa ARAMICA por su atención y colaboración para la elaboración de este trabajo.

A mis amigos María Labrador, Adrian Alarcón, Magda Acosta, Alexandra Ledezma, Gabriel Albahaca, Naliesky Sánchez, entre otros. Quienes fueron los mejores compañeros de clase que se puede tener y quienes jamás olvidare.

Al Ing. Rafael Reyes por brindarme su amistad y quien sin importar las condiciones estuvo ahí para guiarme y aconsejarme en cualquier momento.

A los profesores del departamento de minas en especial a los Prof. (Sasha Cazal, Alba castillo, María Teresa Artigas, Omar Márquez, José Luis Contreras) quienes contribuyeron en mi formación como profesional.

A mis amigos Leandro, Pedro, Nicxon, Elias, Williams, Edwin, Jorge, Elsy, Samili, Henderson, Eduardo, Quienes más que amigos son la mejor familia que pude encontrar lejos de casa.

A la Sra Morella Mikaty por su amistad y apoyo durante mi estadía en la escuela de Geología, Minas y Geofísica

A mis padres Rafael y Zulma quienes han estado ahí durante toda mi vida apoyándome en todo momento hasta lograr esta meta.

¡Muchas Gracias!

Gómez T., Yoel R.

**PLANIFICACIÓN A LARGO PLAZO DE LA UNION DE LAS
CANTERAS EL SAMAN Y AGUA VIVA II, UBICADO EN SAN
SEBASTIAN DE LOS REYES, ESTADO ARAGUA**

**Tutora Académica: Prof. Aurora Piña. Tutor Industrial: Ing. Orianna Nieves.
Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y
Geofísica. Año 2017, 75P**

Palabras Claves: Canteras-Planificación, Canteras- Producción, ARAMICA-San
Sebastián de Los Reyes (Aragua), explotación de canteras.

Resumen. El presente trabajo de investigación 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. El nuevo frente de explotación que servirá como unión de las mismas cuenta con bancos descendentes desde la cota 515 a la 455, estos bancos poseen una altura de 10 m, un ancho mínimo operativo de 15,5 m, ángulo de talud de trabajo de 80° y 30° respecto a la horizontal para el talud final. Este frente permite la extracción de 792.470 m³ de material aprovechable. De este modo se obtiene un único diseño de mina considerando la topografía en cada una de las canteras, garantizando una explotación mineral sistemática y de esta forma garantizar los requerimientos mínimos de producción

INDICE

INDICE DE FIGURAS	8
INDICE DE TABLAS	9
INTRODUCCIÓN	10
Planteamiento del problema.....	11
Objetivos de la investigación	11
Objetivo General.....	11
Objetivos específicos	11
Justificación de la investigación.....	12
CAPITULO I -CARACTERISTICAS FISICO-NATURALES DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	13
1.1 Ubicación y Acceso	13
1.2 Suelos.....	14
1.3 Clima.....	14
1.3.1 Precipitación.....	15
1.4 Hidrología	16
1.5 Vegetación	17
1.6 Fauna.....	18
1.7 Geología Regional	18
1.8 Geología local	21
CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO	22
2.1. Antecedentes de la investigación.....	22
2.2. Bases teóricas	23
2.2.1 Planificación Minera	23
2.2.2 Métodos de explotación a cielo abierto.....	24
2.2.3 Cálculo de reservas	26
2.2.4. Parámetros de planificación minera	30
2.2.5 Criterios para el diseño de una explotación a cielo abierto	31
2.2.6. Clasificación de los sistemas mineros	33

2.2.7. Operaciones básicas en minería a cielo abierto	35
2.2.8 Índices Clave de Producción	42
CAPÍTULO III – MARCO METODOLÓGICO.....	45
3.1 Tipo de investigación.....	45
3.2 Diseño de la investigación	45
3.3. Sujeto de estudio.....	45
3.5. Esquema metodológico	46
3.6. Tareas por objetivos.....	47
3.7. Cronograma de actividades	48
CAPÍTULO IV – RESULTADOS Y ANÁLISIS	49
4.1 Etapa de Campo agosto – octubre 2016.....	49
4.2 Estimación de material aprovechable	50
4.3 Índices Clave de Producción (ICP)	52
4.3.1 Descripción del proceso productivo	52
4.3.2 Equipos de carga y acarreo	53
4.3.3 Indicadores de productividad en equipos de carga y acarreo	54
4.4 Parámetros de diseño a considerar para la unión de las canteras El Samán y Agua Viva II.....	57
4.4.1 Método de explotación	57
4.4.2 Parámetros geométricos de diseño	57
4.4.3 Ancho mínimo operativo.	58
4.4.4 Vías y rampas de acceso.....	59
4.5 Voladura.....	61
4.5.1 Secuencia de explotación	63
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	74
REFERENCIAS	75
ANEXOS.....	77

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación en mapa de las canteras El Samán y Agua Viva II	13
Figura 2. Precipitación media, mínima absoluta y máxima absoluta que registró la estación San Sebastián (2409). Período 1952 - 2003.....	15
Figura 3. Hidrografía de la zona de estudio. Fuente: Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar.....	17
Figura 4. Explotación en canteras.....	26
Figura 5. Métodos de los perfiles	29
Parámetros geométricos que configuran el diseño de una explotación a cielo abierto	31
Figura 7. Clasificación de los sistemas mineros.....	34
Figura 8. Esquema metodológico	46
Figura 9. Cronograma de actividades	48
Figura 10. Perfiles generados sobre la topografía de las canteras El Samán y Agua Viva II	51
Figura 11. Esquema metodológico para el cálculo de material aprovechable mediante el método de los perfiles	52
Figura 12. Diagrama del proceso productivo llevado a cabo por las canteras El Samán y Agua Viva II	53
Grafico1. Indicadores de productividad en los equipos de carga y acarreo.....	55
Grafico 2. Indicadores de productividad en los equipos de carga y acarreo. Agua Viva II.....	56
Figura 13. Representación grafica de la geometría de explotación.....	58
Figura 14 .Parámetros comprendidos en el ancho mínimo operativo (sin escala)	59
Figura 15. Diseño de vialidad doble para la unión de las canteras El Samán y Agua Viva II	60
Figura 16. Representación gráfica del patrón de voladura.....	63
Figura 17. Diseño planteado para la unión de las canteras El Samán y Agua viva II	71

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Instrumento de recolección de datos	50
Tabla 2 Capacidades instaladas en las unidades de producción el Samán y Agua Viva II.....	53
Tabla 3 Equipos existentes en las canteras El Samán y Agua Viva II.....	54
Tabla4. Distribución de horas de parada en equipos de carga y acarreo	55
Tabla5. Valores para el ancho operativo.....	59
Tabla 6 Dimensiones geométricas de la vialidad	60
Tabla 7. Parámetros de la malla de perforación	61
Tabla 8 Características de explosivos usados.....	62
Tabla 9. Parámetros de carga para patrón de voladura	62
Tabla10. Primera fase de la secuencia de explotación.....	64
Tabla 11. Segunda fase de la secuencia de explotación.....	65
Tabla 12. Tercera fase de la secuencia de explotación	66
Tabla 13 Cuarta fase de la secuencia de explotación.....	67
Tabla 14 Quinta fase de la secuencia de explotación	68
Tabla 15. Sexta fase de la secuencia de explotación	69
Tabla 16. Séptima fase de la secuencia de explotación	70

INTRODUCCIÓN

Las Canteras Agua Viva II y El Samán ubicadas en San Sebastián de los Reyes del estado Aragua, actualmente realizan labores de extracción, procesamiento y despacho de roca caliza como agregados para la construcción y carbonato de calcio, garantizando la explotación sostenible del recurso mineral, así como la preservación del medio ambiente, promoviendo y estimulando el desarrollo de la actividad minera en el estado.

La planificación a largo plazo para la unificación de las canteras Agua Viva II y El Samán pretende obtener un mejor modelado de la mina, garantizando una explotación mineral sistemática y de esta forma contribuir con el control de las operaciones mineras, así como obtener un método de producción ajustado a las necesidades de la empresa garantizando así el despacho del material.

Este trabajo se estructura de la siguiente manera: el capítulo I, corresponde a las características físico-naturales de la zona de estudio donde se muestra la ubicación y acceso, suelos, clima entre otras características, capítulo II, marco teórico en el cual se encuentran los antecedentes y las bases teóricas de la investigación; capítulo III, constituye el marco metodológico, que contiene el tipo y diseño de la investigación, población, muestra y las técnicas e instrumentos de recolección de datos necesarias para esta investigación y finalmente el capítulo IV, donde se muestran los resultados y análisis para elaborar la propuesta de planificación con miras a la unión de las canteras El Samán y Agua Viva II. .

Planteamiento del problema

Las canteras denominadas El Samán y Agua Viva II ubicadas en San Sebastián de Los Reyes del estado Aragua, realizan labores de extracción y procesamiento de la roca caliza para el uso como agregado de construcción y carbonato de calcio. Estas canteras colindan y en ambas se extrae el mismo material, con insignificantes variaciones en cuanto a su composición química; por ello, se requiere determinar una óptima planificación minera a largo plazo con el propósito de obtener un único diseño de mina considerando la geología y topografía en cada una de las canteras, garantizando una explotación mineral sistemática y de esta forma garantizar los requerimientos de producción.

En la actualidad se realiza la planificación de ambas canteras por separado lo que repercute en la completa explotación del recurso mineral, por ello, al unificarlas se pretende mejorar la viabilidad, reducir los tiempos de acarreo, garantizar una mayor seguridad y desarrollo de nuevos frentes de producción.

Objetivos de la investigación

Objetivo General

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.

Objetivos específicos

- Describir las características físico – naturales de la zona de estudio.
- Estimar mediante el método de los perfiles el volumen de material aprovechable presente en ambas canteras.

- Determinar los índices claves de producción de las operaciones mineras en ambas canteras.
- Plantear un sistema para la planificación de las perforaciones y voladuras para la unión de ambas canteras, así como los nuevos frentes de producción requeridos.
- Definir los parámetros a emplearse en el diseño minero en la unión de ambos frentes de explotación.
- Generar el diseño de la fosa final para la unión de ambas canteras: El Samán y Agua Viva II.

Justificación de la investigación

Esta investigación pretende obtener un aprovechamiento racional del recurso mineral en la empresa Aragua, Minas y Canteras, S.A (ARAMICA) a través de la unión de las canteras El Samán y Agua Viva II. Del mismo modo se pretende obtener una topografía modificada que sea más armónica respecto a los espacios colindantes y así garantizar una mayor seguridad y estabilidad en el desarrollo de las nuevas áreas de explotación con miras a un cierre de minas organizado.

Esta propuesta de unificación a largo plazo para las canteras recae en la necesidad de la empresa para el óptimo desarrollo de las operaciones mineras, con el propósito de garantizar la producción de agregados para la construcción y carbonato de calcio actualmente requeridos en el país, por lo tanto, con esta iniciativa no solo se beneficiara la empresa sino que contribuirá con el sistema estatal de impulso del desarrollo de las minas y canteras del estado Aragua decretado en el año 2009, estipulado en plan estratégico de la nación.

CAPITULO I -CARACTERISTICAS FISICO-NATURALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

En este capítulo se describirán las características físico-naturales de la zona de estudio, en el que se enumeran: ubicación geográfica, flora, fauna y geología regional.

1.1 Ubicación y Acceso

El área de estudio está ubicada en el estado Aragua, compuesta de dos unidades de producción pertenecientes a la rama de canteras de la empresa Aragua Minas y Canteras S.A, localizadas en la margen izquierdo de la Carretera Nacional San Juan de Los Morros – San Sebastián de Los Reyes a una distancia de 8,4 km de esta última ciudad como se puede observar en la figura 1:

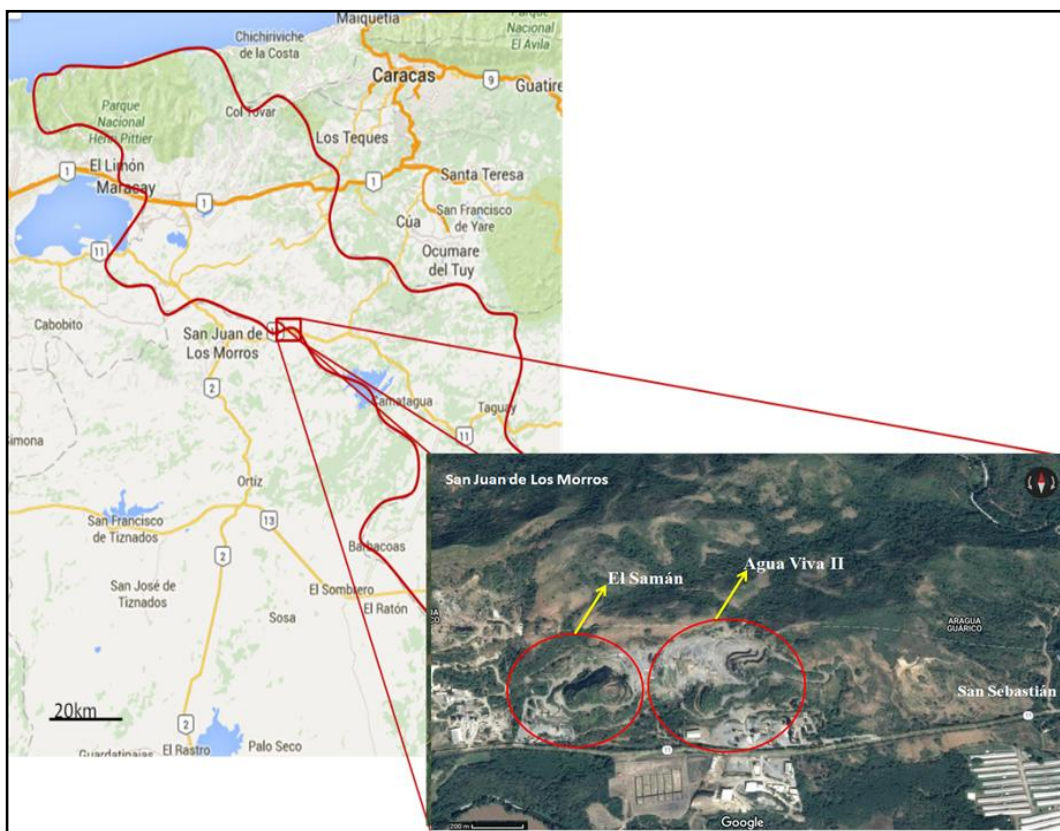


Figura 1. Ubicación en mapa de las canteras El Samán y Agua Viva II. Fuente Google Earth. Consultado: Septiembre 2016

1.2 Suelos

Los suelos de la zona son pertenecientes a la Formación Guárico, la cual está caracterizada por compuestos de conglomerados lenticulares con cantos de areniscas, lutitas, calizas de dioritas, lavas, plagioclasas, filitas, ftanitas, entre otros. Moreno (1996) explica que gracias a las características de la formación, se hace muy difícil que este tipo de suelo retenga el agua.

Los suelos están clasificados entre las clases VI y VIII, los cuales son suelos con poca profundidad, que presentan fertilidad entre mediana y baja, lo que puede hacer muy difícil la implementación de algunos cultivos, sin que se haga algún tratamiento a los suelos (ARAMICA, 2016).

1.3 Clima

Venezuela se encuentra ubicada astronómicamente en la zona intertropical, por lo que, en líneas generales, poseemos climas isotermos, es decir, que presentan escasas variaciones de temperaturas a lo largo del año (de 2 a 5 °C). Sin embargo, las amplitudes térmicas diarias son mucho mayores que las amplitudes anuales de las medias mensuales y pueden llegar hasta los 10 a 15 °C.

San Sebastián de Los Reyes se clasifica como Trópico de Sabana, esto se debe a que sus temperaturas medias oscilan entre los 25°C a los 28°C y las precipitaciones que están en el orden de los 1.000 mm anuales.

Seguidamente se pueden observar detalladamente la información climatológica de la región. Se usaron los datos de los registros históricos de las estaciones San Sebastián (Serial 2409) y Embalse de Camatagua (Serial 2520). Los mismos fueron suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, adscrito al Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas.

1.3.1 Precipitación.

Es necesario conocer el régimen de precipitación de la zona, puesto que su conocimiento es aplicado en la planificación de mina y, por tanto, afectan las operaciones mineras. Sin embargo, aunque es una condición que no es controlable, se deben considerar los registros históricos de las estaciones de la región, con el fin de determinar los meses con mayores precipitaciones y su impacto en la planificación minera

En cuanto a esto, se seleccionaron dos estaciones que se encuentran en la región, la estación pluviométrica San Sebastián (de serial 2409) el cual cuenta con una longitud de registro de 51 años, en el período de 1952 al 2003. En esta sólo se registra precipitación. Por otro lado también se usó la estación climatológica Embalse Camatagua (de serial 2520) que cuenta con una longitud de registro de 32 años, en el período de 1971 al 2003 como se puede observar en la figura 2.

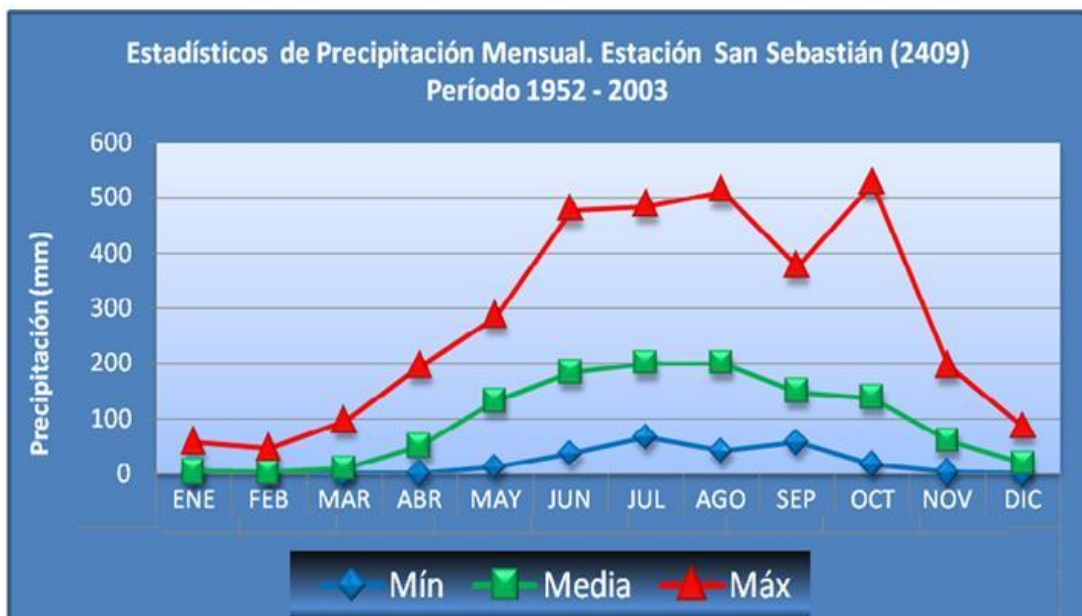


Figura 2. Precipitación media, mínima absoluta y máxima absoluta que registró la estación San Sebastián (2409). Período 1952 - 2003. Fuente: Elaboración propia.

En promedio, la precipitación mensual que registra la estación San Sebastián (2409) es de 1073,4 mm de lluvia al año. Se evidencia que la temporada lluviosa comienza en el mes de mayo con un promedio de 129,9 mm y finaliza en el mes de octubre con

un promedio de 58,5 mm. Los meses de abril y noviembre son considerados meses de transición, por lo que en promedio se registran 48,5 y 58,5 mm, respectivamente. Los meses de más pluviosidad son el mes de julio con 197,9 mm y el mes agosto con 198,7 mm como promedio.

1.4 Hidrología

El principal recurso hídrico del sector Sur de Aragua está representando por las múltiples quebradas y ríos que surcan la Serranía del Interior y los Llanos Altos Centrales, siendo todos tributarios del río Guárico y perteneciente a la cuenca del río Orinoco. Los Acuíferos son escasos, por tanto no representan una fuente potencial de agua para la zona. En el municipio San Sebastián, los ríos más importantes son: el Guárico, Pao, Tiara Arriba, el Altar y la Quebrada Consumidero.

Su red hidrográfica se caracteriza por un recorrido corto y poco caudal de sus cursos de agua, pero de gran importancia como fuentes de agua para el consumo humano. La red hidrográfica de la zona es muy densa y reticulada, controlada generalmente por factores estructurales, resultando de ello un intrincado sistema de valles en forma de “V” bien encajados, siendo comunes los saltos y cascadas de gran altitud. Los ríos y quebradas que conforman el área desembocan en el río Guárico de cota , son de curso consecuente y de régimen permanente (ARAMICA, 2016). En la figura 3 se puede apreciar la red hidrográfica de la zona.

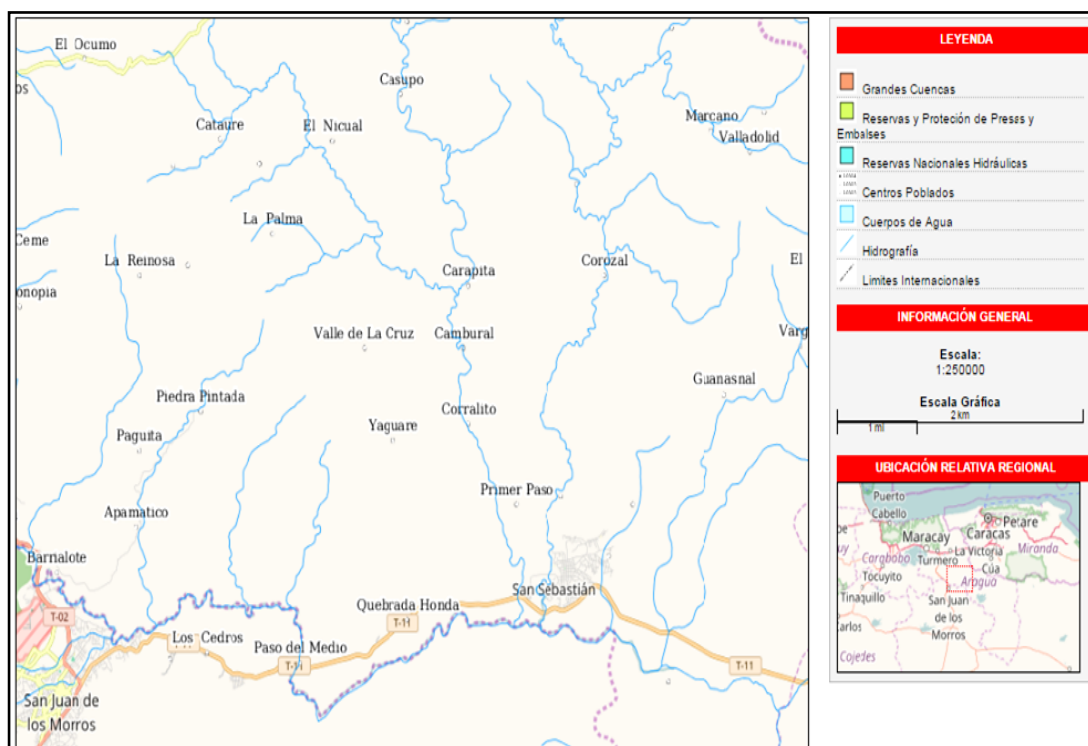


Figura 3. Hidrografía de la zona de estudio. Fuente: Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. Consulta: Agosto 2016

1.5 Vegetación

La vegetación del área, está constituida básicamente por pastizales formados por procesos naturales de diseminación y sucesivos vegetales, así como por áreas invadidas de pastos introducidos que se han extendido por diseminación natural no controlada. Estos pueden encontrarse solos o combinados con una vegetación mesófila subarborescente, con alturas inferiores a los 5 m. Esta última se caracteriza por una mezcla de vegetación arbustiva, subarborescente, leñosa y herbácea, pudiendo presentar árboles dispersos, generalmente con un solo estrato ofrece poca protección al suelo. Generalmente estas áreas son sometidas a pastoreo intensivo, con la consecuente identificación de sectores degradados por sobre pastoreo.

Se evidencia sectores donde la denudación ha acarreado movimientos de masas, que acentúan los procesos de degradación de suelos. También es frecuente encontrar áreas con vegetación predominantemente herbácea, sometidas a dos

periodos climáticos bien marcados, generalmente utilizado para pastoreo (sabanas de montañas). En las inmediaciones de San Sebastián de Los Reyes, se encuentran áreas con vegetación arborescente, bosques con vegetación siempre verde, muy cercanas a siembras de cultivo anuales o permanentes (Aramica 2016).

1.6 Fauna

La fauna en las áreas mineras debido al deterioro del hábitat, tiende a sufrir una merma en sus poblaciones. De igual manera, el uso de las tierras para ganadería intensiva, contribuye con la destrucción de dicho hábitat. Por lo que la fauna local quedaría delimitada dentro de los restos de bosques que no han sido intervenidos o la misma no ha sido de gran envergadura.

Como se expresa en varios estudios, en la zona se han identificado mediante la observación especies de mamíferos tales como: Cachicamo sabanero (*Dasypussabanicola*), Conejo sabanero (*Sylvilagusflorindanus*), Mapurite (*Conepatussemistriatus*) Rabipelao común (*Didelphysmarsupialis*), Ratón sabanero (*Sygodontomysbrevicauda*). En lo referente a las aves, (Familia Cotingidae), loros (Familia Psittacidae), gavilanes (Familia Falconidae), Maraquititas (*Scardafellasquammata*), golondrinas (Familia Hirundinidae), y la Piscua (*Piaya cayana*) (Aramica 2016).

1.7 Geología Regional

Carrero y Rivero (2013) destacan cuatro unidades litológicas, dentro de estas unidades describen unidades sedimentarias carbonáticas con calizas arrecifales y prearrecifales, rocas sedimentarias detríticas, no cíclicas con material calcáreo y rocas sedimentarias detríticas cíclicas. Para esta caliza, los autores lo describen de un “color fresco gris oscuro a gris claro, de forma masiva sin estratificar, presentando alta reacción al ácido clorhídrico, “indicativo de un alto contenido de carbonato de calcio”.

Por otra parte Diaz (2014) habla de la geología en una zona que abarca a San Juan de Los Morros, Villa de Cura y San Sebastián de Los Reyes estas tres zonas tienen

correlación en la información geológica y nos da como uno de los efectos una compilación de las formaciones geológicas existentes en la zona de estudio. Con análisis de muestras recolectadas en campo este autor indica la presencia de una cobertura sedimentaria en la zona, con las correlaciones volcánicas y plutónicas de las otras formaciones geológicas.

Según ambos trabajos antes mencionados Díaz (2014) y Carrero y Rivero (2013) existe la “Faja Piemontina” y la “Faja Villa de Cura”, a su vez cada una de estas fajas contienen en si formaciones que nos dan características específicas estudiadas en trabajo de campo.

Faja Piemontina

Formación Morro del Faro

Está formada por grandes masas de calizas arrecifales de color gris, densas y con vetas de calcita, masas de turbiditas y algunas rocas volcánicas embebidas en forma caótica en una matriz limo-arcillosa calcárea.

La formación está constituida por 300 a 350 m de calizas biostromales, biodetríticas con abundancia de foraminíferos, microalgas y otros organismos carbonáticos, dispuestas en capas submétricas a plurimétricas. Las calizas son macizas, compactas de color gris claro que meteoriza a gris azulado; su localidad tipo se encuentra a 5 km al Noroeste de la ciudad de San Juan de Los Morros. Carrero y Rivero (2013)

Formación Caramacate

Carrero y Rivero (2013) describen un rango de formación desde la carretera de San Juan de Los Morros –San Sebastián hasta el norte de la formación Las Hermanas

La formación es una unidad de 400 m de espesor, conformada por limolitas silíceas que se interestratifican con capas de calizas arcillosas, lutitas negras y capas de *chert* finamente laminado y bandeado en colores claros y oscuros; también son comunes las areniscas grauváquicas, parcialmente líticas. Sus estructuras sedimentarias son la gradación, las laminaciones paralela y cruzada, y estructuras de carga. Localmente a

diferentes niveles se hallan diamictitas polimícticas que contienen clastos de volcánicas sin diferenciar. En la parte inferior y media de la secuencia, las pelitas contienen olistolitos carbonáticos, con lito y biofacies tipo Formación Morro del Faro.

Formación Garrapata

Carrero y Rivero (2013) indican que se trata de secuencia de turbiditas cíclicas, perfectamente gradadas de espesor irregular desde los diez centímetros hasta los diez metros. Cada ciclo referido comienza con un conglomerado grueso seguido por una sucesión de turbiditas y lutitas. Las calizas o lutitas calcáreas duras son un constituyente menor que se hace más frecuente hacia el tope de la unidad. Localmente se encuentra hasta un 60 % del espesor total de la formación, constituida por conglomerados caracterizados por su color gris oscuro. Las capas tienen espesores máximos de 50 metros, y son generalmente macizas y de escogimiento pobre; sin embargo, se encuentra buena estratificación gradada en las capas de limolita y arenisca fina que se encuentra sobre los conglomerados.

Faja de Villa de Cura

Formación Las Hermanas

Su ubicación está a 8 km al Norte de San Sebastián de Los Reyes y está caracterizada por un transporte tectónico y la describen como “bloques exóticos” Seguidamente Carrero y Rivero (2013) nos afirman que la formación las hermanas está caracterizada por dos miembros principales: el inferior, consiste esencialmente de conglomerados gruesos, con intercalaciones delgadas de tobas; el Miembro Superior está formado de tobas líticas, flujos de lavas y ftanitas. En la región de San Sebastián, esta unidad infrayace discordante a una secuencia de calizas arenosas y lutitas del Paleoceno. El contacto está marcado por un conglomerado basal, en el cual se entremezclan peñones redondeados de calizas fosilíferas del Paleoceno con fragmentos de la Formación Las Hermanas. El Miembro Inferior está constituido esencialmente de conglomerados gruesos, mal escogidos, formados por fragmentos

de lavas porfiríticas vesiculares, ricas en plagioclasa y piroxenos. Los clastos son redondeados o sub-redondeados y pueden alcanzar excepcionalmente hasta unos 60 cm de diámetro.

1.8 Geología local

Carrero y Rivero (2013) describen que en esta unidad se encuentran unas calizas de color fresco gris oscuro a claro, color meteorizado gris claro a blanco, las calizas se presentan de manera masiva sin presentar ninguna estratificación, con pequeñas fracturas. Se observa gran cantidad de fósiles difíciles de identificar en muestras de mano ya que estos están muy fracturados debido a la alta energía que rigió durante el depósito de la caliza. La roca es muy densa y presenta una alta reacción al ácido clorhídrico lo que indica un alto contenido de carbonato, se observan cavernas rellenas de calcita de color amarillo, también se observan cavernas y diaclasas rellenas de calcita precipitada.

CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO

En este capítulo se reseñara brevemente algunos antecedentes de la presente investigación. Estos antecedentes integran conceptos y conclusiones que han sido importantes en la realización del proyecto, así como las bases teóricas que fundamentan esta investigación

2.1. Antecedentes de la investigación

- a. Gómez de F, Berardo (2013) “ ***Selección del Diseño Óptimo en función de parámetros operativos empleando herramientas informáticas para una cantera de metacaliza de uso industrial***”

El objetivo principal de esta investigación fue determinar el diseño óptimo de producción y fosa o *pit* de una cantera de metacaliza empleando herramientas informáticas y considerando parámetros técnicos y operativos para el mejoramiento del rendimiento, producción y seguridad de las operaciones.

- b. Moya B. Freddy J. (2015) “***Verificación de la opción de producción más favorable a partir de diseños de explotación a largo plazo del Frente 02, Cantera Carayaca ubicada en Tacagua, Distrito Capital***”

El objetivo principal de esta investigación fue verificar la opción de producción más favorable a partir de Diseños de explotación a Largo Plazo del Frente 02, Cantera Carayaca ubicada en Tacagua, Distrito Capital.

- c. Labrador L. María A. (2014) “***Diseño para la fusión de las canteras Agua Viva II y El Samán, considerando los planes de voladura a mediano plazo***”.

El objetivo principal de esta investigación fue diseñar la fusión de las Canteras Agua Viva II y El Samán, considerando los planes de voladura a mediano plazo.

2.2. Bases teóricas.

Esta sección corresponde a las bases teóricas que representan la investigación, para así sustentar la información contenida a lo largo del trabajo

2.2.1 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.

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.

2.2.2 Métodos de explotación a cielo abierto

Herrera (2006) los define como procesos iterativos tanto desde el punto de vista temporal como espacial, que permite llevar a cabo las explotaciones mineras de yacimientos por medio de un conjunto de sistemas, procesos y máquinas que operan de una forma ordenada, repetitiva y rutinaria. La minería a cielo abierto se caracteriza por los grandes volúmenes de materiales que se deben mover. Según el I.T.G.E (1995), entre los métodos más comunes empleados en la minería a cielo abierto están:

1. - Tajo abierto.
- 2.- Fosa abierta.
- 3.- Explotación en tiras.
4. – Canteras.
5. –*GloryHole*.

a. Método de las Canteras

Canteras es el término genérico que se utiliza para referirse a las explotaciones de rocas industriales, ornamentales y de materiales de construcción. Constituyen, el sector más importante en cuanto a número, ya que desde hace mucho tiempo se han venido explotando para la extracción y abastecimiento de materia prima para su uso en la construcción y en obras de infraestructura. Antiguamente, debido al valor relativamente pequeño que tenían los materiales extraídos, las canteras se situaban muy cercanas a los centros de consumo y poseían unas dimensiones generalmente reducidas. El método de explotación aplicado suele ser el de banqueo, con uno o varios niveles, del mismo modo las canteras se pueden clasificar según su producto final en:

- Canteras de áridos (rellenos, asfaltos, hormigones, entre otros), incluyéndose también en este grupo a las graveras.
- Canteras de roca ornamental (pizarras, granitos, mármoles, entre otros).
- Canteras de rocas y minerales industriales (cementos, cerámica y vidrio, entre otros).

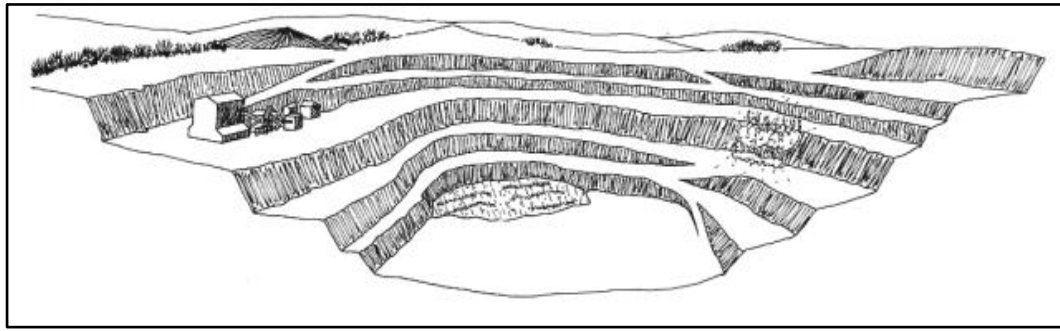


Figura 4. Explotación en canteras. Fuente: Herrera (2006)

2.2.3 Cálculo de reservas

Consiste en el cálculo de la cantidad de mineral contenido en un yacimiento, para ello existen diferentes métodos, sin embargo, todos tienen un mismo fin.

a. Clasificación de recursos y reservas.

El procedimiento de clasificación del mineral dentro de un depósito se fundamenta en tres criterios básicos como son la viabilidad económica, certidumbre geológica y aprovechamiento o recuperación del mineral. Tomando en cuenta estos criterios se han elaborado diferentes clasificaciones suministradas por diferentes organismos incluyendo el U.S. Bureau de Minas (USBM), U.S. Geological Survey (USGS) en 1980, Australian Mining Industry Council (AMIC) y el Australian Institute of Mining and Metallurgy (AIMM) en 1989.

Dentro de los sistemas de clasificación de recursos, se destaca el sistema propuesto por AMIC/AIMM debido a su aceptación mundial y por ser el más simple y cuya aplicación es posible a cualquier tipo de yacimiento. En este sistema se clasifican los recursos en:

Recurso Medido: estos son interceptados y determinados por perforaciones, afloramientos, calicatas y labores mineras. La distancia entre ellos es lo

suficientemente cerrada para confirmar la continuidad del yacimiento con un real conocimiento del mismo.

Recurso Indicado: se calculan a partir de información similar a la utilizada para los recursos medidos, pero los lugares para inspección, toma de muestras y medidas están a mayor distancia o distribuidos de forma menos adecuada.

El grado de seguridad, aunque inferior al de recursos medidos, es lo suficientemente alto como para suponer que existe una continuidad entre los puntos de observación.

Recurso Inferido.

Las estimaciones se basan en una supuesta continuidad más allá de los recursos medidos e indicados, para los cuales existen pruebas geológicas. Los recursos inferidos pueden o no estar corroborados por muestras o mediciones.

Dentro de la misma clasificación de AMIC/AIMM, las reservas se clasifican en:

Reservas Probadas.

Comprende los “recursos medidos” susceptibles de una explotación minera, económicamente y ambientalmente viable, con una determinada tecnología y donde el recurso identificado ha sido definido en tres dimensiones por excavaciones o perforaciones.

Reservas Probables.

Son aquellas que se han establecido en términos de volúmenes, toneladas y grado de calidad donde las condiciones son tales que el recurso probablemente sea confirmado pero donde el recurso in situ identificado ha sido clasificado como indicado y no ha sido definido con la precisión necesaria de los recursos medidos. Las reservas probables incluyen aquel mineral que ha sido medido por perforaciones tan espaciadas que no se asegura continuidad.

(López 2000) afirma que existen dos grupos de métodos a la hora de calcular las reservas de un yacimiento estos son: los métodos geométricos o clásicos y los métodos geo-estadísticos.

a.1 Métodos Clásicos

Estos son métodos sencillos, que se basan en criterios meramente geométricos estos métodos clásicos tienen la ventaja de ser sencillos en su construcción y cálculo. Las desventajas radican en la precisión de los métodos, ya que generalizan el comportamiento de una zona, que puede llegar a ser amplia, basándose sólo en los resultados de uno o pocos sondeos cercanos. Dentro de los métodos clásicos podemos considerar los siguientes:

- Método de los polígonos.
- Método de los perfiles.
- Método de las matrices de bloques.
- Método de la triangulación.
- Método de los contornos.
- Método del inverso de la distancia.

a.1.1 Método de los perfiles

Bustillo y López (1997) explica que este es uno de los métodos más utilizados dentro de los 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.

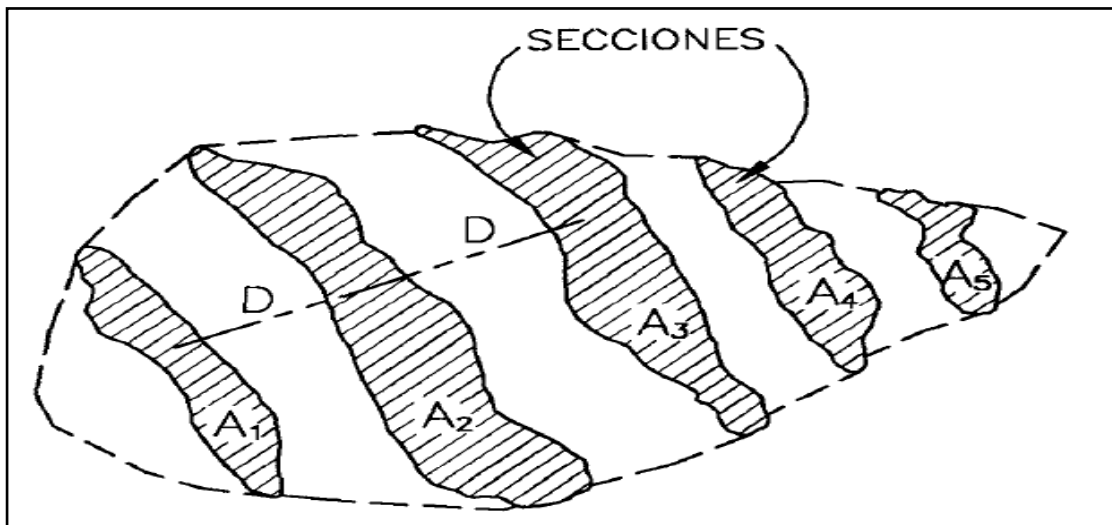


Figura 5. Métodos de los perfiles. Fuente: Bustillo y López (1997)

El área de cada sección o perfil se puede calcular de diversas formas (planímetro, regla de Simpson, entre otras). El volumen de cada bloque se puede obtener multiplicando el área de cada sección por las distancias medias a los perfiles contiguos de ambos lados como se muestra en la Ecuación 1:

$$Vi = (Ai \times Di-1/2) + (Ai \times Di+1/2) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Para efectuar el cálculo del volumen en las secciones de los extremos se emplea la Ecuación 2:

$$V1 = A1 \times D1/2 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Una vez obtenido el volumen del mineral de interes se determinan las reservas del mismo, esto conociendo el valor de la densidad de la mineralizacion, el producto de ambos valores permitira conocer cuantas toneladas de mineralizacion existen en el yacimiento como se muestra en la Ecuacion 3.

$$Q = V \times d \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde :

Q: Reserva del mineral (t)

V: Volumen (m³)

d: Densidad aparente del mineral (t/m³)

2.2.4. Parámetros de planificación minera

Ortiz y otros (2001) plantean que se deben establecer los siguientes criterios iniciales para comenzar a trabajar en un proyecto de explotación a cielo abierto:

Ritmo

Es uno de los parámetros que influye más claramente en un estudio de viabilidad. La definición del ritmo o escala de explotación es las toneladas de mineral extraídas o producidas por año o por hora de trabajo en algunos casos. Este ritmo viene marcado fundamentalmente por el mercado, que señala la producción anual susceptible de ser vendida.

Vida

El concepto de vida de la explotación es el resultado de dividir las reservas demostradas por el ritmo, y en función de lo enunciado sobre la dinámica del concepto de las reservas, es también un concepto dinámico.

Ratio limite económico

Relación máxima de m^3 de estéril por tonelada de mineral que es función de la geometría del yacimiento y de los parámetros geomecánicos que determinan la seguridad de la operación.

Secuencia de explotación

Tal como lo indica su nombre, es el orden que se debe seguir en la explotación para llegar al final de la misma.

2.2.5 Criterios para el diseño de una explotación a cielo abierto

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

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

La figura 6 muestra los principales parámetros geométricos que configuran el diseño de una explotación a cielo abierto.

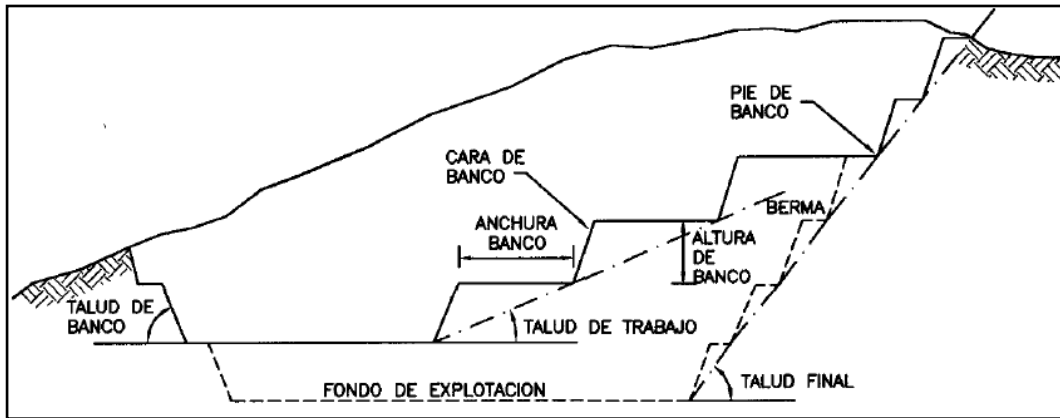


Figura 6. Parámetros geométricos que configuran el diseño de una explotación a cielo abierto. Fuente: Bustillo y López. (1997)

A continuación, se definirán los parámetros involucrados en la figura 6.

Banco

Es el módulo o escalón comprendido entre dos niveles que constituyen la rebanada que se explota ya sea de estéril o mineral.

Altura de banco

Es la distancia vertical entre dos niveles; se mide desde el pie del banco hasta la parte más alta del mismo.

Bermas

Son estructuras horizontales que se dejan de manera permanente en las paredes finales de la fosa final para mejorar la estabilidad y seguridad del mismo. A diferencia del banco, que es una terraza operativa y que varía con la vida de la mina, la berma es permanente y se establece en la fosa final.

Ángulo de berma

Es el ángulo más pequeño, que se forma entre la horizontal y la pared de la berma.

Ancho de berma

Se refiere al ancho de la berma. Considerando elementos de geotecnia y recuperación ambiental de mina, el ancho de berma normalmente mide lo suficiente para poder realizar ciertas actividades de recuperación ambiental para el cierre de mina; por ejemplo, reforestación del talud, mejoramiento del drenaje de la fosa final entre otros.

Talud de Banco

Es el ángulo delimitado entre la horizontal y la línea de máxima pendiente de la cara del banco.

Talud de Trabajo

Es el ángulo determinado por los pies de los bancos entre los cuales se encuentra alguno de los tajos o plataformas de trabajo. Por lo tanto, es una pendiente provisional de la excavación.

Pistas

Son estructuras a través de las cuales se extrae el mineral y el estéril, o se efectúan los movimientos de equipos y servicios entre diferentes puntos de la misma. Se caracterizan por su ancho y su pendiente en una disposición espacial determinada.

Rampas de acceso

Constituyen las vías o caminos que se emplean para cumplir diversas actividades operativas de la mina, principalmente el acarreo de material desde los frentes de explotación a las plantas de procesamiento. Las anchuras son pequeñas, y las pendientes son superiores a las de las pistas.

Talud final de la explotación

Es el ángulo del talud estable delimitado por la horizontal y la línea que une el pie del banco inferior y la cabeza del superior.

Pit final

Se define como la extensión vertical y lateral en la cual el yacimiento es económicamente explotable bajo las condiciones tecnológicas y ambientales existentes. Uno de los parámetros principales que limitan los límites de la fosa es la relación de remoción.

2.2.6. Clasificación de los sistemas mineros

Herrera (2006) propone que después de haber definido el método aplicable, es necesario establecer el sistema de explotación, que estará constituido por los diferentes equipos de arranque, carga y transporte. Según la continuidad del ciclo básico, en la Figura 7 se diferencian los siguientes sistemas.

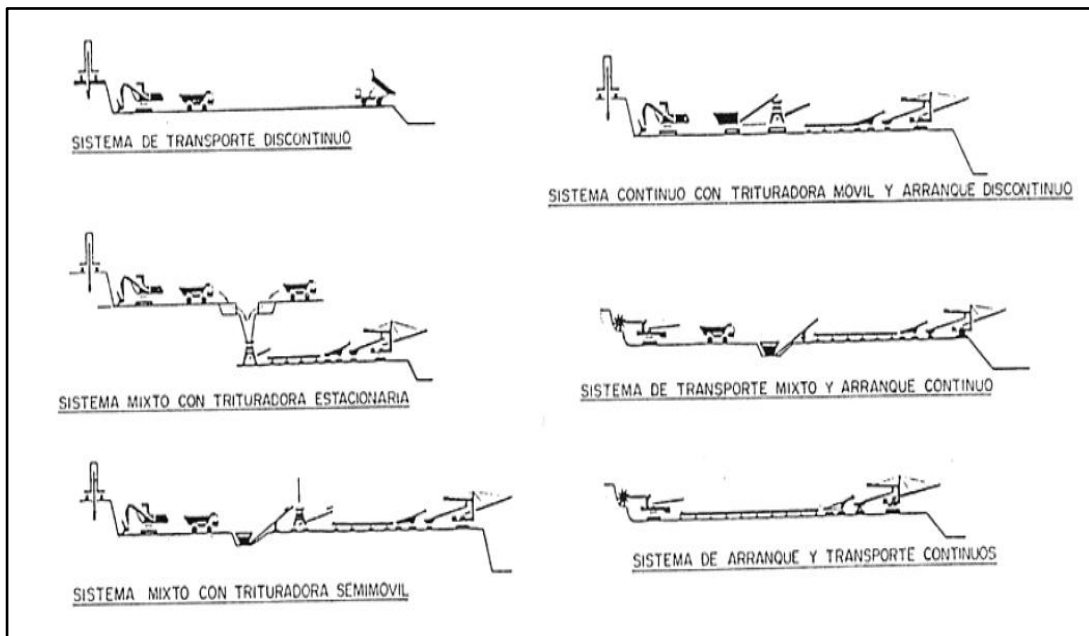


Figura 7. Clasificación de los sistemas mineros. Fuente Herrera (2006)

- a) **Sistema de transporte discontinuo:** La operación de arranque con o sin voladura, se lleva a cabo con equipos discontinuos y el transporte se efectúa con volquetes mineros. Es actualmente, el sistema más implantado debido a su gran flexibilidad y versatilidad.
- b) **Sistema mixto con trituradora estacionaria:** Una parte de la operación se realiza con medios semejantes al sistema anterior, hasta una trituradora instalada dentro de la explotación, con la que se consigue una granulometría adecuada para efectuar desde ese punto el transporte continuo por cintas.
- c) **Sistema mixto con trituradora semimóvil:** Conceptualmente es igual al sistema anterior, pero con mayor flexibilidad, ya que la trituradora puede cambiarse de emplazamiento cada cierto tiempo, invirtiendo en estos traslados varios días o semanas.
- d) **Sistema continuo con trituradora móvil y arranque discontinuo:** Esta es una variante de la alternativa anterior, donde se ha sustituido el arranque discontinuo por una rotopala o equipo similar. Es un sistema poco utilizado, aunque algunas minas lo aplican.

- e) **Sistema de transporte mixto y arranque continuo:** En este sistema se prescinde del transporte con camiones, ya que el triturador móvil acompaña constantemente por el frente al equipo de arranque y carga discontinuo.
- f) **Sistema de arranque y transporte continuo:** Es por excelencia el sistema que aporta un mayor porcentaje de electrificación, ya que todas las unidades, excepto las auxiliares, van accionadas por motores eléctricos.

A su vez, en cada uno de esos sistemas la maquinaria utilizada puede ser distinta pues por ejemplo en el arranque continuo es posible emplear rotopalas o minadores y en el transporte continuo, bandas transportadoras convencionales, cintas de alta pendiente, mineroductos, entre otros.

2.2.7. Operaciones básicas en minería a cielo abierto

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

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

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

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

Debido a la dureza de la roca presente en las Canteras Agua Viva II y El Samán es necesaria la construcción de un patrón de voladura ya que el arranque no se puede realizar por métodos directos.

a.1. Patrón de Perforación.

- **Diámetro del Barreno**

Viene dado por el diámetro del elemento corte del equipo de perforación.

- **Altura de Banco**

La altura de banco es en función del equipo de carga o el de excavación, del diámetro de perforación, de la resistencia de la roca de la estructura geológica y estabilidad del talud.

- **Retiro**

Konya (1998) define el retiro como la distancia más corta al punto de alivio al momento de detonar un barreno, el alivio es considerado como la cara original del banco o bien como una cara interna creada por una hilera de barrenos que han sido detonados previamente con un retardo anterior. La fórmula para determinar el retiro es la siguiente:

$$B_{\max} = (3,15 \times \Phi_e) \times \sqrt[3]{\frac{\rho_e}{\rho_r}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Dónde:

- B_{max}: Burden máximo en pies
- Ø_e: Diámetro del explosivo, en pulgadas
- ρ_e: Densidad del explosivo
- ρ_r: Densidad de la roca

- **Espaciamiento**

Es la distancia entre perforaciones de una misma fila que se disparan con un mismo retardo o con retardos diferentes y mayores en la misma fila. En rocas que van de medianamente duras a duras, puede ser determinado por la relación establecida por Langerfors (1976):

$$S = 1,25 \times B \quad (\text{Ecuación 5})$$

- **Sobreperforación**

Konya (1998) define la sobreperforación (S_p) como la profundidad a la cual se perforara el barreno por debajo del nivel del piso propuesto, para asegurar que el rompimiento ocurrirá a nivel. La fórmula para determinar la sobreperforación es la siguiente:

$$S_p = 0.3 \times B_{\max} \quad (\text{Ecuación 6})$$

- **Longitud de Perforación**

La longitud de la perforación (L_p) tiene marcada influencia en el diseño total de la voladura y es factor determinante en el diámetro, burden y espaciado. Es la suma de altura de banco más la sobreperforación necesaria por debajo del nivel de la rasante del piso:

$$L_p = H + S_p \quad (\text{Ecuación 7})$$

Dónde:

- L_p = Longitud de Perforación
- H = Altura del banco
- S_p = Sobreperforación

- **Taco**

El taco se refiere a la porción superior del barreno que normalmente se rellena con material inerte para confinar los gases de la explotación Konya (1998). La relación común para la determinación del taco es:

$$T = 0.7 \times B \quad (\text{Ecuación 8})$$

- **Número de Barrenos Requeridos**

El número de barrenos requeridos para cumplir con la producción requerida viene dado por los m³ de cada barreno, lo cual se muestra en la siguiente ecuación:

$$N^{\circ} \text{ Barrenos.} = V / B \times S \times H \quad (\text{Ecuación 9})$$

Dónde:

- V: Volumen de material a volar en m
- B: Burden o retiro en m
- S: Espaciamiento en m
- H: Altura del banco en m

a.2. Patrón de Carga

Para cargas explosivas, Konya (1998) estableció los siguientes criterios y fórmulas:

- **Longitud de la carga**

Es el tramo de la longitud total del barreno destinado a contener la carga explosiva.

$$L = L_p - T \quad (\text{Ecuación 10})$$

Dónde:

- L: Longitud de carga
- L_p: Longitud de perforación
- T: Taco

- **Concentración de la carga de fondo**

Es la carga explosiva de fondo por cada unidad de longitud que ocupa en el barreno.

$$q_f = \left(\frac{\rho_{\text{exp}} \times \Phi b^2}{1276} \right) \quad (\text{Ecuación 11})$$

Dónde:

- q_f: Concentración de carga de fondo
- Ø_b: Diámetro del barreno
- ρ_{exp}: Densidad del explosivo

- **Longitud de la carga de fondo**

Es el tramo de la longitud del barreno destinado a contener la carga de fondo.

$$h_f = 1.3 \times B_{\text{máx}} \quad (\text{Ecuación 12})$$

- **Carga de fondo**

Es la porción de carga en el fondo del barreno necesaria para volar roca donde está más confinada.

$$Q_f = q_f \times h_f \quad (\text{Ecuación 13})$$

Dónde:

- Q_f: Carga de fondo
- q_f: Concentración de carga de fondo
- h_f: Longitud de la carga de fondo

- **Concentración de la carga de columna**

Es la carga explosiva de columna por cada unidad de longitud que ocupa en el barreno.

$$q_c = \left(\frac{\rho_{\text{exp}} \times \Phi b^2}{1276} \right) \quad (\text{Ecuación 14})$$

Dónde:

- q_c : Concentración de carga de columna
- Φ_b : Diámetro del barreno
- ρ_{exp} : Densidad del explosivo

- **Longitud de la carga de columna**

Es el tramo de la longitud del barreno destinado a contener la carga de columna.

$$h_c = L - h_f - T \quad (\text{Ecuación 15})$$

Dónde:

- h_c : Longitud de la carga de columna
- L : Longitud de la carga
- T : Taco

- **Carga de columna**

Es la carga de explosivos que se coloca encima de la de fondo. No es necesario que sea concentrada como la de fondo ya que en esta zona la roca tiene más libertad.

$$Q_c = q_c \times h_c \quad (\text{Ecuación 16})$$

Dónde:

- Q_c : Carga de columna
- q_c : Concentración de carga de columna
- h_c : Longitud de la carga de columna

- **Carga Total**

Es la suma de la carga explosiva de fondo y la carga de columna.

$$Q_{tot} = Q_f + Q_c \quad (\text{Ecuación 17})$$

Dónde:

- Q_{tot} : Carga total
- Q_f : Carga de fondo
- Q_c : Carga de columna

- **Factor de carga**

Es la carga específica de kilogramos de explosivos por cada m^3 .

$$F_c = \frac{Q_{tot}}{B \times S \times H} \quad (\text{Ecuación 18})$$

Dónde:

- Q_{tot} : Carga total
- B : Burden o retiro en m
- S : Espaciamiento en m
- H : Altura del banco en m

b. Carga: La carga consiste en la recogida del material ya fragmentado para depositarlo seguidamente, en la mayoría de los casos sobre otro equipo o sobre una instalación adyacente. A continuación, se presentan varios aspectos a considerar en esta operación:

c. Transporte

El transporte es la fase que posee en la actualidad una mayor repercusión económica sobre el ciclo de explotación, que puede cifrarse entre el 40 y el 60 % del costo total e incluso de la inversión en equipos principales. Se basa en extracción o desplazamiento de los diferentes materiales hasta las plantas de procesamiento, en el caso de los minerales, o hasta los vertederos, en el caso de los estériles.

d. Vertido.

La operación de vertido, normalmente la realizan las propias máquinas que realizan el transporte ayudadas por equipos auxiliares.

2.2.8 Índices Clave de Producción

Todas las actividades y procesos de cualquier organización deben medirse con parámetros enfocados a la toma de decisiones, asegurándose de que las actividades sean acordes con los objetivos de negocio permitiendo evaluar los resultados frente a dichos objetivos. Estos parámetros son conocidos como indicadores: parámetro numérico que facilita la información sobre un factor crítico identificado en la organización, en los procesos o en las personas respecto a las expectativas definidas. Cuando el valor de un indicador de gestión es comparado con algún nivel de referencia, nos permiten detectar desviaciones lo que nos permitirá tomar todo tipo de medidas correctivas o, lo más interesante, preventivas. López (2009).

La Disponibilidad de un equipo es un factor importante en la programación del tiempo y la producción planeada para el mismo. Hay dos métodos para calcular la disponibilidad de un equipo. Según Chacón (1991):

Disponibilidad Mecánica

Disponibilidad del equipo debido al tiempo perdido por reparación, y se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$Dm = TO / (TO + TR) \text{ (Ecuación 19)}$$

Disponibilidad Física

Es la disponibilidad del equipo debido al tiempo perdido por otras causas (diferentes a las de origen mecánico)

$$Df = (TO + TD) / TT \text{ (Ecuación 20)}$$

Otros indicadores, utilizados también en esta investigación son:

Uso de la Disponibilidad

Es un factor que puede medir el record de cuán eficiente es una operación en la que se hace uso del equipo.

$$Ud = TO / (TO + TD) \text{ (Ecuación 21)}$$

Uso Efectivo

Es el porcentaje del tiempo programado, en el cual el equipo está en operación.

$$Ue = TO / TT \text{ (Ecuación 22)}$$

Definición de los Tiempos

Tiempo Operacional, TO: Esta definido como el tiempo que una cuadrilla u operador es asignado a un equipo y la máquina está en condiciones de operación.

Tiempo en reparación, TR: Representa el tiempo en que el equipo se encuentra detenido por mantenimiento preventivo o correctivo en el mismo.

Tiempo disponible, TD: Es el tiempo en el cual el equipo está en condiciones de operación, pero está parado porque no se requiere su utilización en ese momento o por falta de operador. También se conoce como Tiempo *stand by*.

Tiempo Total: Es la suma de TO, TR y TD; También se conoce como horas de presencia.

CAPÍTULO III – MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se describe el método utilizado para llevar a cabo la investigación, presentando el tipo y diseño de la misma, Sujeto de estudio, además de los instrumentos para la recolección de datos.

3.1 Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo correlacional-descriptiva, debido a que se realiza el análisis sistemático de un problema, con el propósito de describirlo entendiendo los factores constituyentes y su ocurrencia; ello puede observarse al correlacionarse datos geológicos, topográficos y operacionales para la planificación a largo plazo de la unión de las Canteras Agua Viva II y El Samán

3.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es de tipo no experimental transeccional debido a que no hay manipulación intencional de las variables, además de que la recolección de datos se hace en un tiempo único y definido para el diseño de la unión de las canteras Agua Viva II y El Samán.

3.3. Sujeto de estudio

Para esta investigación se establece como sujeto de estudio a las canteras El Samán y Agua Viva II, estas pertenecientes a la empresa Aragua, Minas y Canteras, S.A (ARAMICA) ubicadas en San Sebastián de los Reyes, estado Aragua.

3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Las técnicas e instrumentos empleados para la realización de esta investigación son:

La revisión documental

Recopilación de información bibliográfica de las canteras, tal como topografía, estudio geológico, producción y equipos actuales de las canteras. También, información bibliográfica relacionada con la planificación minera a cielo abierto, diseño de explotaciones a cielo abierto, operaciones unitarias, entre otros.

Registro Fotográfico

Toma de fotografías en la zona de interés tales como el frente de trabajo, vías de acceso, linderos de explotación, entre otros.

Libreta de campo

Calculadora

3.5. Esquema metodológico

Para cumplir con los objetivos de la presente investigación se muestra un esquema en la figura 8, donde se presenta de forma detallada el proceso metodológico a seguir:

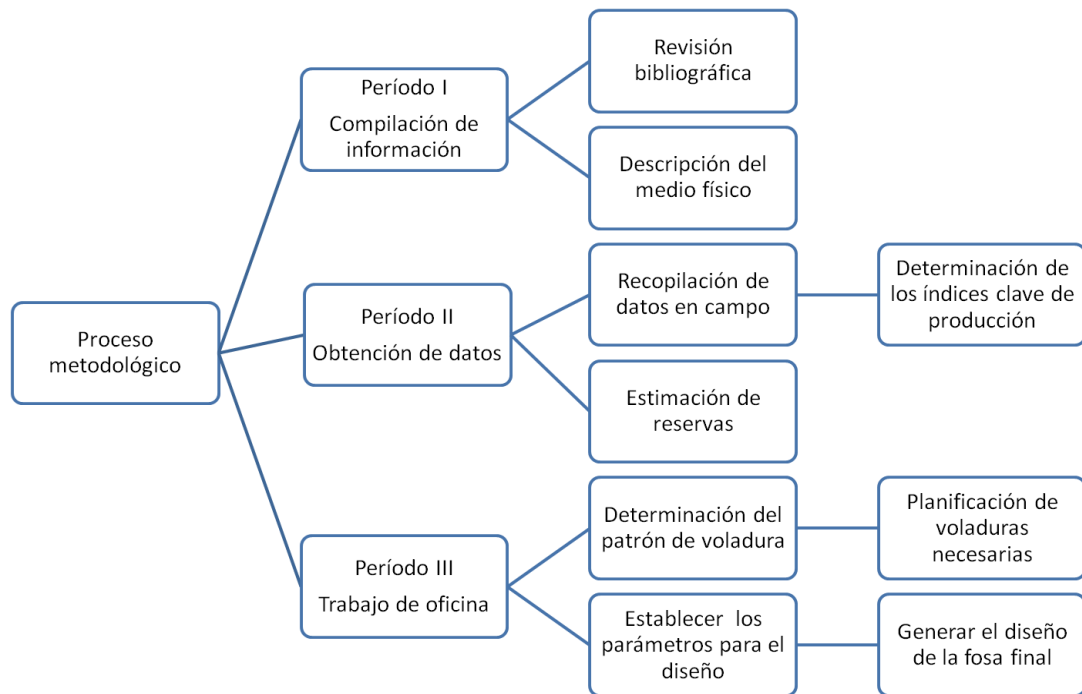


Figura 8. Esquema metodológico. Fuente: Elaboración propia.

3.6. Tareas por objetivos

A continuación, se nombran las actividades a realizar por cada uno de los objetivos establecidos.

Describir las características físico – naturales de la zona de estudio.

- Revisión bibliográfica
- Recolección de datos en campo

Estimar mediante el método de los perfiles el volumen de material aprovechable presente en ambas canteras.

- Generar la topografía actualizada de ambas canteras.
- Generar los perfiles de ambas canteras.
- Realizar el cálculo del volumen de material aprovechable y estéril existente.

Determinar los índices claves de producción de las operaciones mineras en ambas canteras.

- Descripción de los equipos existentes en ambas canteras
- Calcular la disponibilidad mecánica en los equipos de ambas canteras.
- Calcular la disponibilidad física en los equipos de ambas canteras.
- Calcular el uso de la disponibilidad física en los equipos de ambas canteras.
- Calcular el uso efectivo en los equipos de ambas canteras.

Plantear un sistema para la planificación de las perforaciones y voladuras para la unión de ambas canteras, así como los nuevos frentes de producción requeridos.

- Determinar el patrón de voladura y el consumo de explosivos
- Planificar el número de voladuras necesarias para llegar a la unión de ambas canteras

Definir los parámetros a emplearse en el diseño minero en la unión de ambos frentes de explotación.

- Definir la altura de los bancos.
- Establecer el ángulo del talud y talud final.
- Definir el ancho operativo de los bancos.
- Establecer la configuración de las vías y rampas en la unión de las canteras.

Generar el diseño de la fosa final para la unión de ambas canteras El Samán y Agua Viva II

- Crear el diseño de la fosa final de la unión de ambas canteras mediante un software de dibujo asistido

3.7. Cronograma de actividades

Tomando en cuenta todas las actividades que deben realizarse para cumplir con los objetivos de este trabajo, se ha diseñado el presente cronograma a ser ejecutado aproximadamente durante 24 semanas como se muestra en la figura 9.

ACTIVIDADES	SEMANA																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Revisión Bibliográfica																								
Cálculo de volumen de material																								
Cálculo de índices claves de producción																								
Diseño del patrón de voladura																								
Planificación de Perforación y voladura																								
Diseño de pistas y rampas																								
Generar el diseño de la fosa final																								
Revisión con el tutor																								
Entrega a los jurados																								
Presentación																								

Figura 9. Cronograma de actividades Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV – RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos en la etapa de campo que se llevo a cabo en la empresa Aragua Minas y Canteras S.A (ARAMICA) con el fin de realizar la planificación de la unión de las canteras El Samán y Agua Viva II, así como el análisis de dichos resultados para llegar a la unificación de las canteras.

4.1 Etapa de Campo agosto – octubre 2016

En la etapa de campo comprendida entre los meses de agosto y octubre del 2016, durante las primeras semanas se efectúa la recolección de datos topográficos y reconocimiento de las distintas áreas de las canteras en estudio. De igual forma, se trabaja en el diseño de un instrumento para la recolección de datos, esto con la finalidad de obtener un control de tiempos de parada en los equipos de carga y acarreo de las canteras El Samán y Agua Viva II. Dicho instrumento fue ejecutado de manera continua durante 4 semanas continuas con el apoyo de la Gerencia de Mantenimiento, el mismo se aplicó de manera simultánea en ambas canteras. Consecutivamente se lleva a cabo una etapa de oficina dentro de las instalaciones de la empresa, donde se procede al procesamiento de los datos y las actualizaciones topográficas.

Tabla 1. Instrumento de recolección de datos. Fuente: Elaboración propia.

Control de Tiempo de Parada en Equipos de Carga y Acarreo													
Fecha: _____													
Cantera: Agua Viva II _____ EL Samán _____ Equipo: _____													
Hora de parada	Hora de arranque	Código de parada	Tiempo de parada	Código de parada	Motivo								
				01	Falla mecánica TD								
				02	Mantenimiento TR								
				03	Reposición de combustible TR								
				04	Falta de operador TD								
				05	Mantenimiento del frente TD								
				06	Lluvia TD								
				07	Voladura TD								
				08	Demoras de personal TD								
				09	Huelga/Reunión/Charla TD								
				10	Necesidades personales TD								
				11	Falta de material TD								
				12	Cambio de agua/aceite TR								
				13	Comida o descanso TD								
			<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Tiempo total de parada</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de reparación (TR)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tiempo de mantenimiento (TD)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td></td> </tr> </table>			Tiempo total de parada		Tiempo de reparación (TR)		Tiempo de mantenimiento (TD)		Total	
			Tiempo total de parada										
			Tiempo de reparación (TR)										
			Tiempo de mantenimiento (TD)										
Total													

4.2 Estimación de material aprovechable

Para realizar la estimación de material aprovechable se procede a calcularlo mediante el Método de Los Perfiles. Para ello se emplea la superficie topográfica proporcionada por la empresa que abarca desde la cantera El Samán hasta la cantera Agua Viva II con miras a su unificación.

El procedimiento que se emplea es el siguiente: se realiza una actualización de la base topográfica de modo que permita establecer los límites del yacimiento y su polígono de afectación. Posteriormente, se erige el eje de los perfiles desde el vértice “b” hasta el vértice “h” de dicho polígono, con un ángulo de inclinación de 160° con respecto a la dirección Este-Oeste, esta dirección con el fin de englobar la mayor área posible y de esta forma procurarse una estimación más precisa; perpendicular a este

eje se designaron los perfiles longitudinales los cuales poseen un ángulo de 70° y una distancia equidistante entre ellos de 20 metros, obteniendo como resultado un total de 43 perfiles desde la progresiva 0+020 hasta la 0+860 como se observa en la figura 10.

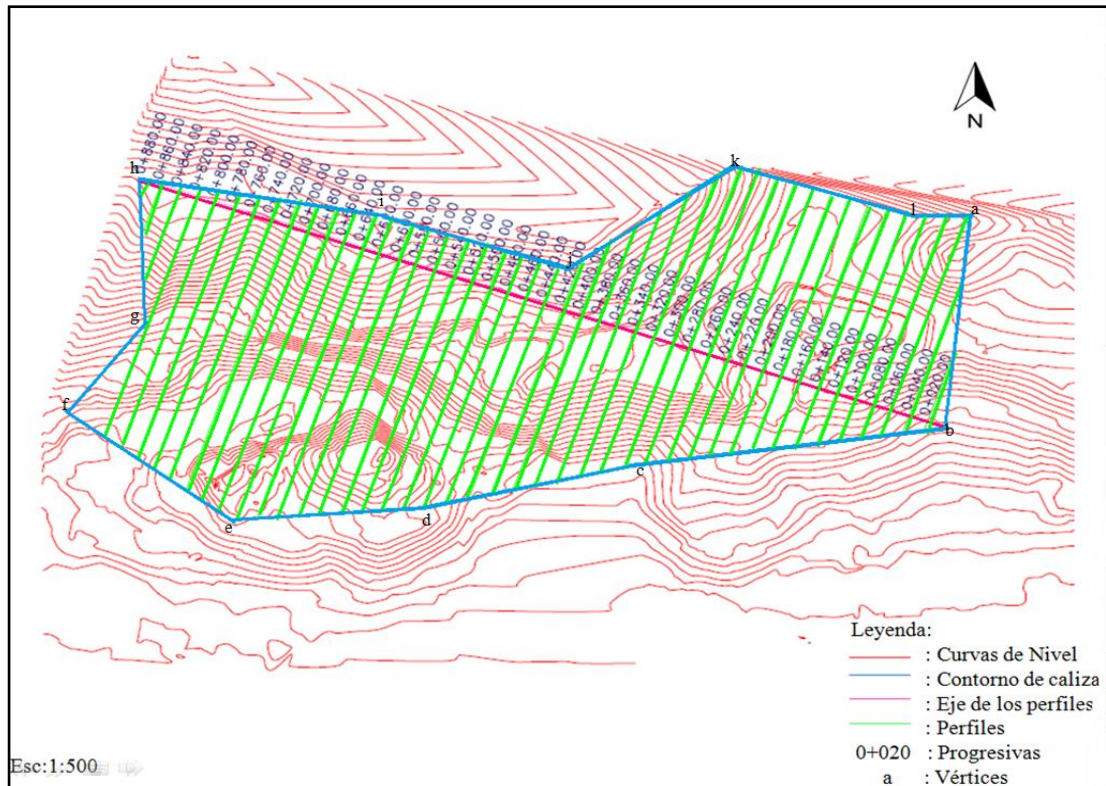


Figura 10. Perfiles generados sobre la topografía de las canteras El Samán y Agua Viva II. Fuente elaboración Propia

Mediante el empleo de una herramienta de hoja de cálculo, se procede a introducir los datos con las ecuaciones 1 y 2 antes mencionadas. Se obtienen los resultados de las áreas y volúmenes de material aprovechable, los cuales se muestran en el anexo N°1. El total de este cálculo con el método de los perfiles es de 24.667.077,51 m³. En la figura 11 se muestra un esquema con la metodología seguida para el cálculo de material aprovechable de las canteras El Samán y Agua Viva II.

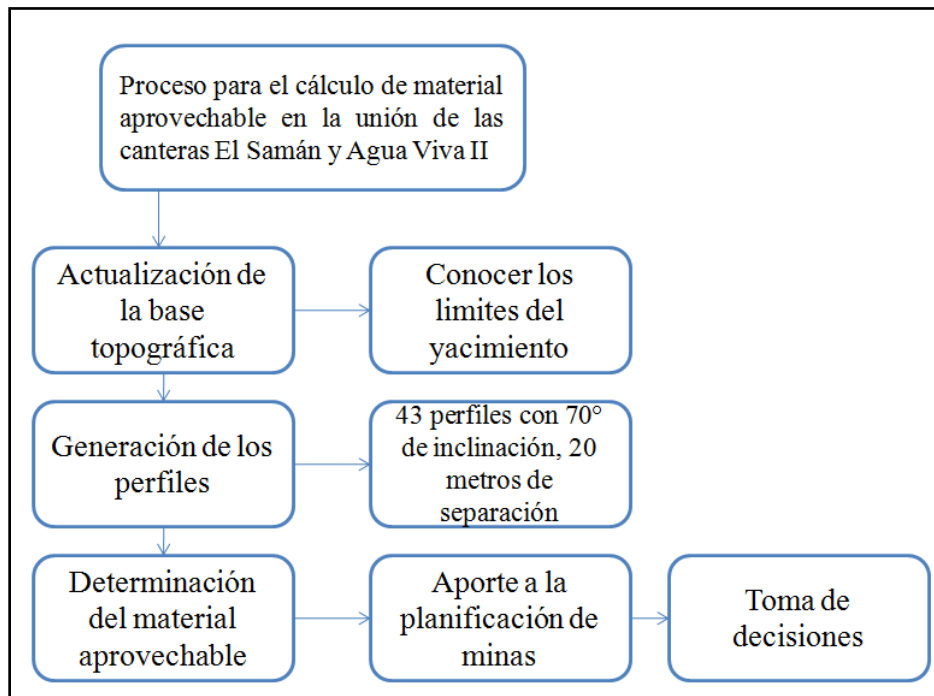


Figura 11. Esquema metodológico para el cálculo de material aprovechable mediante el método de los perfiles. Fuente: Elaboración Propia.

4.3 Índices Clave de Producción (ICP)

En esta sección se muestra el proceso productivo ejecutado en las canteras El Samán y Agua Viva II, la descripción de los equipos utilizados para las operaciones de carga y acarreo en ambas unidades de explotación, así como, los indicadores de productividad calculados para estas unidades.

4.3.1 Descripción del proceso productivo

Las canteras El Samán y Agua Viva II actualmente están realizando labores para la operación de arranque de modo independiente mediante perforación y voladura, posteriormente, este material es cargado por retroexcavadora para ser vertido en los equipos de carga existente en cada una de las canteras, con la finalidad de ser trasladado hasta las plantas de trituración para su procesamiento y seguidamente, efectuar el despacho de este material como agregado para la construcción y carbonato de calcio hacia diferentes usos; se pueden mencionar en la Tabla 2 las capacidades instaladas de estas unidades productivas.

Tabla 2 Capacidades instaladas en las unidades de producción el Samán y Agua Viva II. Fuente: Elaboración Propia.

	Capacidad instalada (m ³ /día)
El Samán	900
Agua Viva II	1050

En el siguiente diagrama se muestra el proceso productivo llevado a cabo por las canteras El Samán y Agua Viva II de modo independiente.

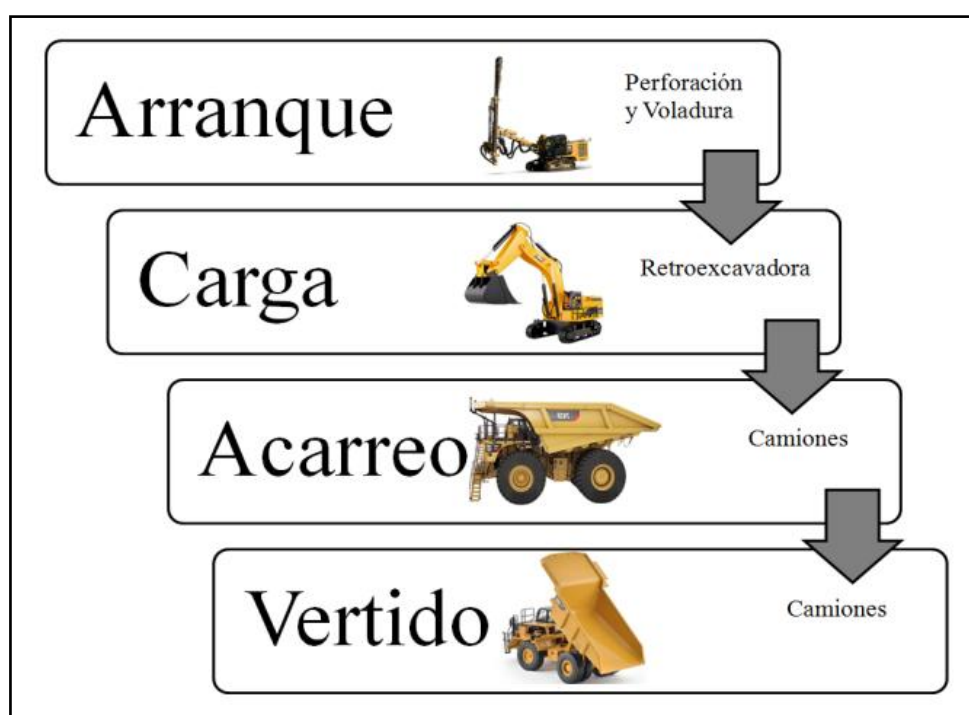


Figura 12. Diagrama del proceso productivo llevado a cabo por las canteras El Samán y Agua Viva II. Fuente: Elaboración Propia.

4.3.2 Equipos de carga y acarreo

El desarrollo de las operaciones unitarias de carga y acarreo en las canteras El Samán y Agua Viva II, es mediante sistema discontinuo, por medio de la carga del material fragmentado con retroexcavadora y trasladado en camiones rígidos hasta cada planta de trituración respectivamente, localizadas dentro de la explotación. En este punto, la función de dichas plantas es lograr la granulometría adecuada para

trasladar el material mediante cintas transportadoras. Por otro lado, las unidades productivas cuentan con la siguiente flota de equipos de carga y acarreo, como se ve en la Tabla 3.

Tabla 3 Equipos existentes en las canteras El Samán y Agua Viva II. Fuente: Elaboración Propia.

Equipos presentes en las canteras El Samán y Agua Viva II		
Cantera	Equipo	Capacidad (m ³)
El Samán	Cargador Frontal Caterpillar modelo 980H	5,7
	Retroexcavadora Caterpillar modelo 345DL	3,8
	Camión Caterpillar modelo 771D	18,3
	Camión Caterpillar modelo 771D	18,3
Agua Viva II	Cargador Frontal Caterpillar modelo 980H	5,7
	Retroexcavadora Caterpillar modelo 345DL	3,8
	Camión Caterpillar modelo 775E	31,4
	Camión Caterpillar modelo 775E	31,4

4.3.3 Indicadores de productividad en equipos de carga y acarreo

Dentro de la planificación de minas se deben tomar en cuenta los Indicadores Clave de Producción, mientras más confiables sean los históricos de estos ICP mas óptimos serán los resultados. En este caso se tomaron en cuenta una serie de indicadores en los equipos de carga y acarreo de las canteras El Samán y Agua Viva II. Estos ICP fueron calculados partiendo del instrumento de recolección de datos mencionados en la sección 4.1.

Una vez obtenidos y procesados los datos mediante el uso de una hoja de cálculo, esto con el fin de conocer la distribución de los tiempos operativos y de reparación dentro del tiempo disponible de los equipos como se encuentra reflejado en la Tabla 4.

Tabla4. Distribución de horas de parada en equipos de carga y acarreo. Fuente. Elaboración propia.

Cantera	Equipo	Tiempo de Operación (horas)	Tiempo de Reparacion (horas)	Tiempo Disponible (horas)	Tiempo Total (horas)
El Samán	Cargador Frontal Caterpillar modelo 980H	90,2	42,8	28,0	161
	Retroexcavadora Caterpillar modelo 345DL	116,8	19,4	25	161
	Camión Caterpillar modelo 771D	99,8	29,2	32,0	161
	Camión Caterpillar modelo 771D	104,4	27,4	29,2	161
Agua Viva II	Cargador Frontal Caterpillar modelo 980H	103,3	30,2	27,5	161
	Retroexcavadora Caterpillar modelo 345DL	65,2	16,2	79,6	161
	Camión Caterpillar modelo 775E	53,3	77	30,8	161
	Camión Caterpillar modelo 775E	0	161	0	161

Una vez obtenida la distribución de los tiempos disponibles y de reparación en los equipos de carga y acarreo se procede a calcular los ICP en los equipos pertenecientes a las canteras El Samán y Agua Viva II los cuales pueden apreciarse en los gráficos 1 y 2

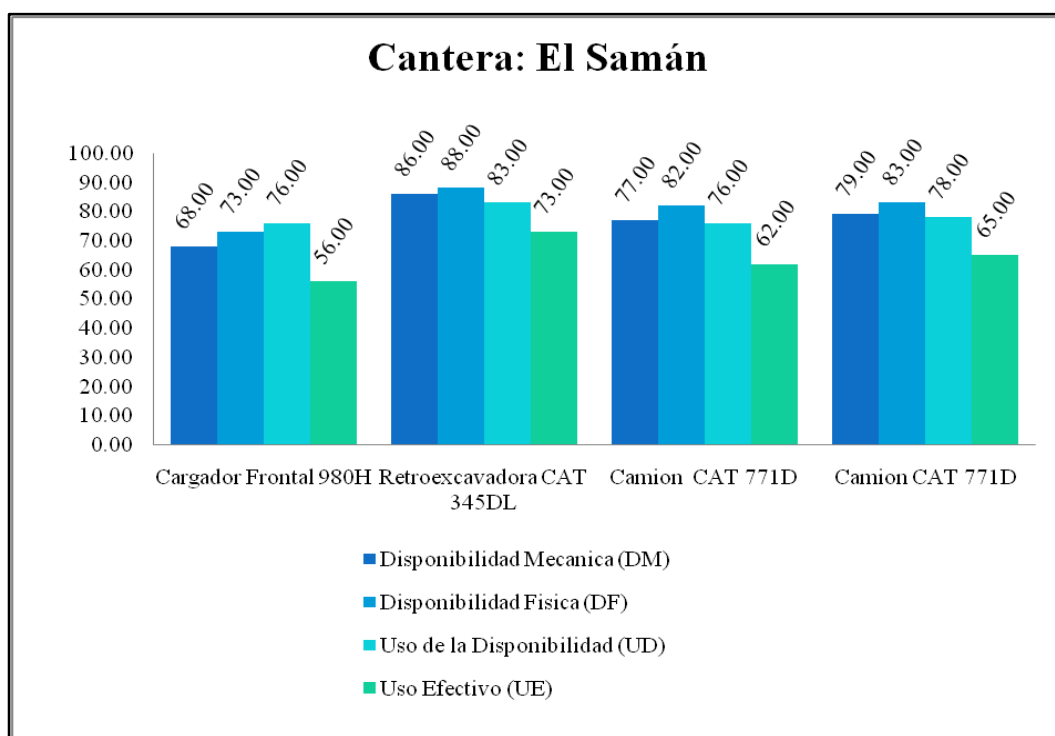


Grafico1. Indicadores de productividad en los equipos de carga y acarreo. El Samán. Fuente. Elaboración propia.

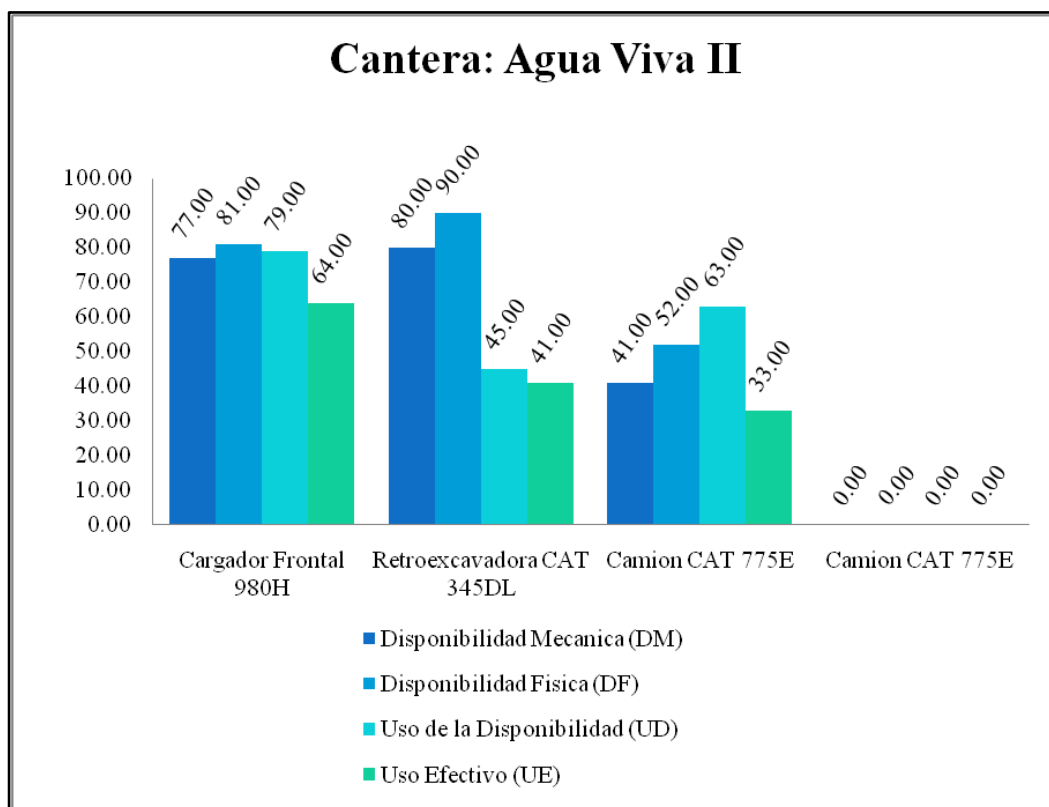


Grafico 2. Indicadores de productividad en los equipos de carga y acarreo. Agua Viva II. Fuente. Elaboración propia.

En promedio la disponibilidad mecánica de los equipos de carga de la cantera El Samán es de 78 %, si se contrastan estos datos con la disponibilidad física la cual es de 81,5 % y el uso de la disponibilidad de 64 % se puede apreciar que se tienen equipos en buen estado con pocas horas de mantenimiento, de esta forma, al compararlos con el promedio del uso efectivo el cual es de 64 % podemos inferir que si se planifican mejor las tareas de estos equipos, haciendo mayor control y seguimiento es posible incrementar las horas de operación, mejorando así la efectividad de los mismos.

En el caso de la cantera Agua Viva II es una condición anómala, esto debido a que durante el periodo de estudio uno de los equipos de acarreo se hallaba en estatus de reparación, a la espera de la reposición de neumáticos y el otro pasó la mitad del tiempo en reparación motivado a una falla inducida por un agente externo, se deduce

que por las horas en operación una vez solventadas las fallas, ambos equipos se encontrarían en condiciones óptimas para desarrollar una operación continua.

4.4 Parámetros de diseño a considerar para la unión de las canteras El Samán y Agua Viva II

4.4.1 Método de explotación

El método de explotación utilizado en estos yacimientos es el convencional de canteras a cielo abierto según Herrera (2006) donde se realizan bancos y terrazas por medio de perforaciones verticales, con el fin de efectuar voladuras programadas mediante el empleo de explosivos, para luego ser reducidos a diferentes tamaños para la comercialización.

4.4.2 Parámetros geométricos de diseño

4.4.2.1 Altura de banco

La altura de banco establecida por la empresa hasta la fecha agosto 2016 es 10 metros.

4.4.2.2 Ángulo de talud de trabajo y talud final

Para el diseño geométrico de la unión de las canteras El Samán y Agua Viva II el ángulo de talud de trabajo será de 80° respecto a la horizontal y de 30° para el de talud final. Estos valores fueron obtenidos mediante estudios anteriores solicitados por la empresa y nos fueron suministrados para la fecha referida.

En la figura 13 se muestra la representación grafica de la altura y disposición los ángulos establecidos para el diseño de la unión de las canteras El Samán y Agua Viva II.

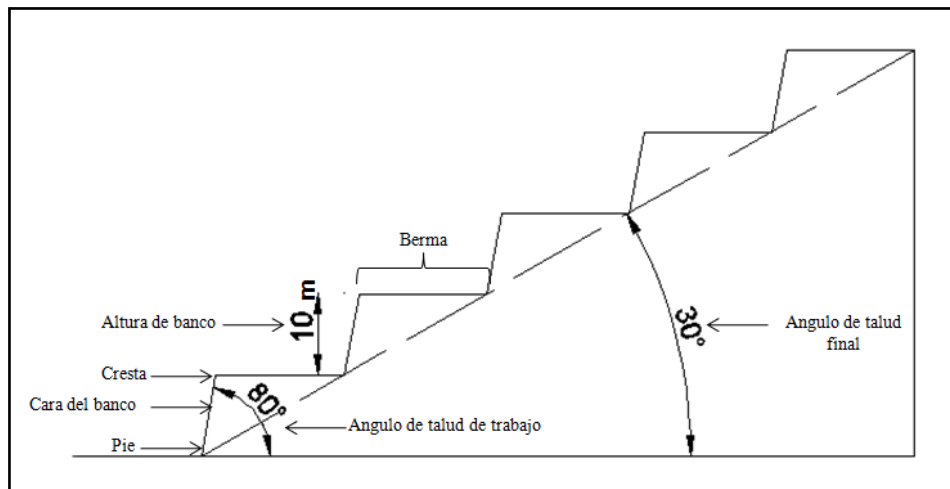


Figura 13. Representación grafica de la geometría de explotación. Fuente. Elaboración Propia.

4.4.3 Ancho mínimo operativo.

Basados en las dimensiones de los equipos de carga y acarreo se debe mantener un ancho mínimo operativo para tener un espacio exacto para estas labores. Las dimensiones de los equipos son las siguientes:

Equipo de carga:

- Retroexcavadora Caterpillar modelo 345DL con radio de giro de 3,7 m.

Equipos de acarreo:

- Camión Caterpillar modelo 771D con un ancho de 3,6 m.
- Camión Caterpillar modelo 775E con un ancho de 4 m.

Además de las dimensiones de los equipos para determinar el ancho mínimo operativo se deben tener en cuenta otros parámetros como la distancia de seguridad, derrame de material y bermas de seguridad. En la figura 14 se puede apreciar estos parámetros.

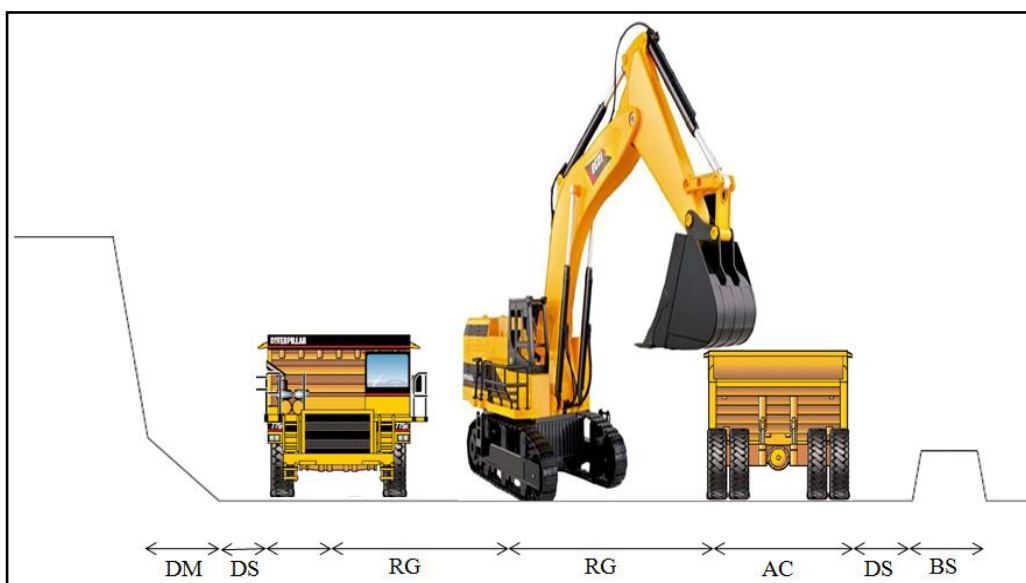


Figura 14 .Parámetros comprendidos en el ancho mínimo operativo (sin escala).
Fuente: Elaboración propia.

Los valores establecidos para el ancho mínimo operativo se muestran en la tabla 5.

Tabla5. Valores para el ancho operativo. Fuente: Elaboración propia.

Ancho mínimo operativo	
Ancho del camión (AC)	4 m
Radio de giro del equipo de carga (RG)	3,7 m
Berma de seguridad (BS)	1 m
Distancia de seguridad (DS)	1 m
Derrame de material (DM)	1 m
Altura de Berma de seguridad	1 m
Ancho mínimo operativo total	15,5 m

4.4.4 Vías y rampas de acceso.

Las vías y rampas de acceso son elementos importantes para el buen desempeño de las labores de mina, ya que por estas se movilizan los equipos de acarreo los cuales se encuentran en movimiento constante para transportar el material. Para garantizar un óptimo desempeño de los equipos de carga se diseña una vía de

dos carriles con pendientes variables que no superan el 10 %. Para ello se contempla la dimensión del equipo de carga más grande, las distancias de seguridad, berma de seguridad y zanja de drenaje, como se muestra en la figura 15.

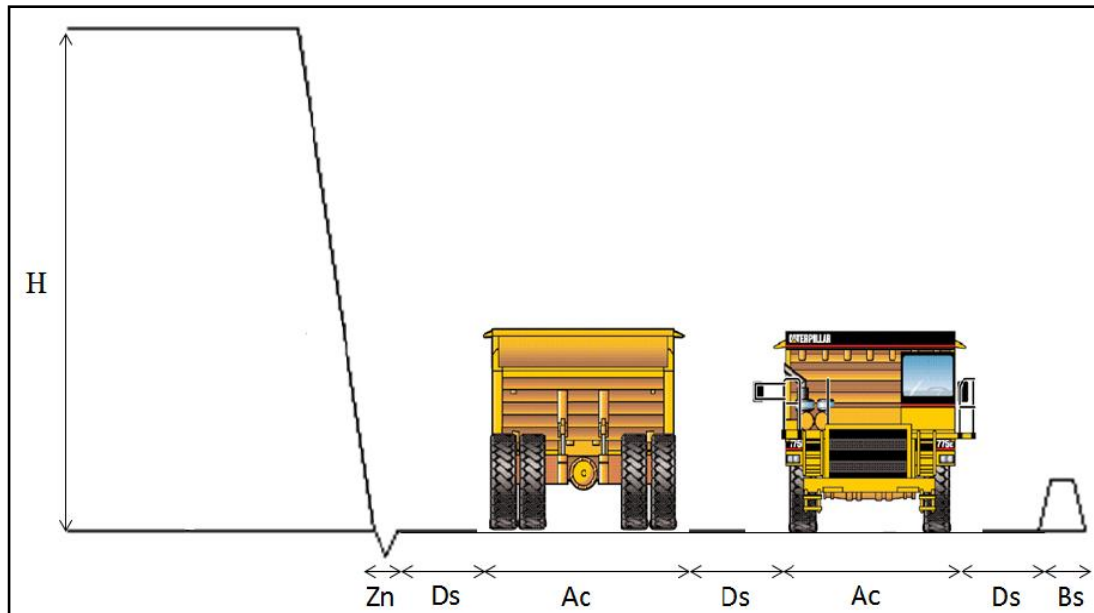


Figura 15. Diseño de vialidad doble para la unión de las canteras El Samán y Agua Viva II. Fuente. Elaboración propia.

Basado a las dimensiones del equipo de carga (CAT 775E) y a los otros elementos que conforman la vía de dos carriles se obtiene un ancho de 15,5 (Tabla 6).

Tabla 6 Dimensiones geométricas de la vialidad. Fuente: Elaboración propia..

Elementos de la vialidad	
Ancho del camión (Ac)	4 m
Distancia de seguridad (Ds)	2 m
Berma de seguridad (Bs)	1 m
Zanja (Zn)	0,5 m
Altura de banco (H)	10 m
Ancho total de pista	15,5 m

En la actualidad, las vías en las canteras tienen anchos de 12 metros, criterio que no considero en su construcción las distancias y bermas de seguridad en algunos tramos del perfil. Para corregir esto, se ha considerado las dimensiones del equipo de

acarreo mas grande, mas una distancia de seguridad de 2 metros, aunado a una berma de seguridad que tenga altura equivalente a la mitad del neumático del camión (1 metro de alto por 1 metro de base). Por otro lado, las dimensiones de la cuneta se han propuesto para de 0,5 m x 0,5 m (ancho por profundidad) con una sección triangular. Se plantea una inclinación transversal mínima hacia ambos lados del eje de la vialidad del 1 %. El ancho total de la vialidad será de 15,5 m.

4.5 Voladura

La formación rocosa que se encuentra en el área que comprende a las canteras El Samán y Agua Viva II contiene grandes volúmenes de roca caliza. Esta roca está compuesta en su totalidad de calcita recristalizada muy compacta y masiva, de innumerables grietas y cavidades que se internan desde la superficie hasta decenas de metros hacia el interior. Por esto se utiliza un método de arranque del material mediante perforación y voladura, para satisfacer los tamaños de bloques requeridos por la planta de trituración. Para llevar a cabo este arranque se mantiene el parámetro geométrico desarrollado por las canteras con altura de banco de 10 metros, diámetro del barreno de 4” y una configuración del mallado de perforación en tresbolillo o triangular, con el fin de efectuar los cálculos mediante las ecuaciones antes mencionadas para conocer las dimensiones de la malla de perforación mostradas en la Tabla 7.

Tabla 7. Parámetros de la malla de perforación. Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Dimensión (m)
Altura (H)	10
Retiro (B)	3
Espaciamiento (S)	3,5
Taco (T)	2
Sobreperforación	1
Longitud (L)	11

Seguidamente se calcula la carga explosiva contenida por cada barreno, para esto se muestran las características de los explosivos a usarse presentados en la Tabla 8.

Tabla 8 Características de explosivos usados. Fuente: Elaboración propia.

Explosivo	ρ explosivo (g/cm ³)	RWS	Presentación	Peso (kg)	Numero de Piezas
ANFO	0,8	100	Saco	20	1
Emulsión Senatel Ultrex 65x400	1,18	96	Caja	25	17
Booster Pentex	1,6	80	Pieza	0,45	1

Una vez calculados los parámetros de diseño de la malla de perforación y con las características de los explosivos antes mencionadas, se calculan mediante las formulas antes descritas los parámetros de carga para el patrón de voladura, los cuales se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Parámetros de carga para patrón de voladura. Fuente: Elaboración Propia.

Parámetro	Valor
Longitud de carga (Lc)	9 m
Longitud de carga de fondo (hf)	3,9 m
Concentración de carga de fondo (qf)	9,62 Kg/m
Carga de fondo (Qf)	37,52 Kg
Longitud de carga de columna (hc)	5,1 m
Concentración de carga de columna (qc)	6,52 Kg/m
Carga de columna (Qc)	33,25 Kg
Factor de carga (Fc)	0,67 Kg/m

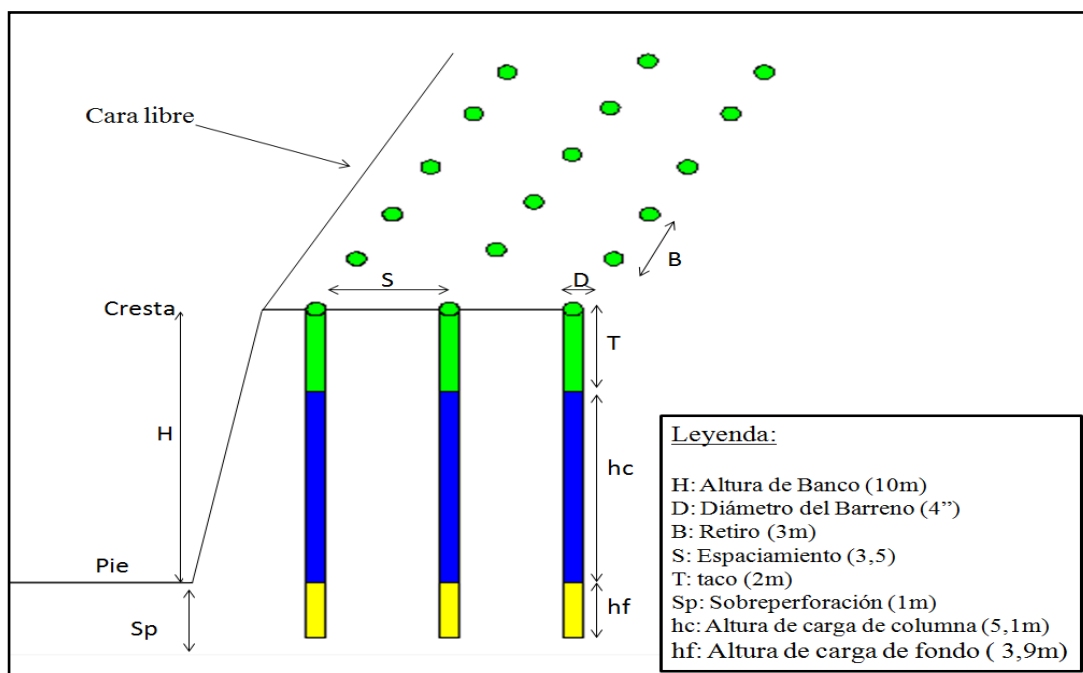


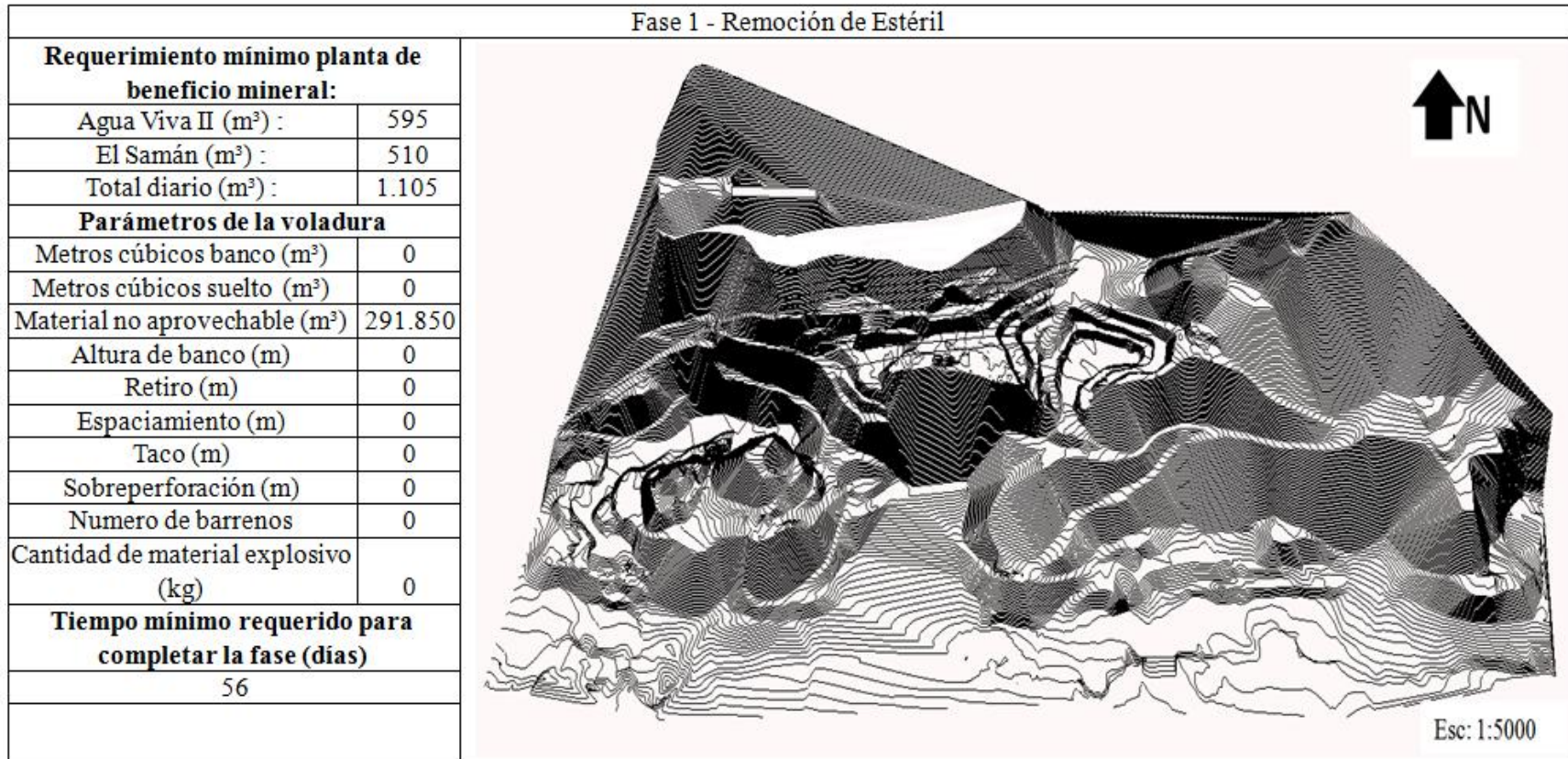
Figura 16. Representación gráfica del patrón de voladura. Fuente. Elaboración propia.

4.5.1 Secuencia de explotación

Una vez planteados los parámetros a emplearse en las voladuras para realizar la unificación de las canteras El Samán y Agua Viva II se diseña una propuesta de planificación de voladuras para efectuar dicha unión. En esta etapa se muestra la secuencia de explotación, cómo irá extrayendo el material a través de las voladuras, que permita visualizar el avance de mina en el transcurso de las secuencias ejecutadas.

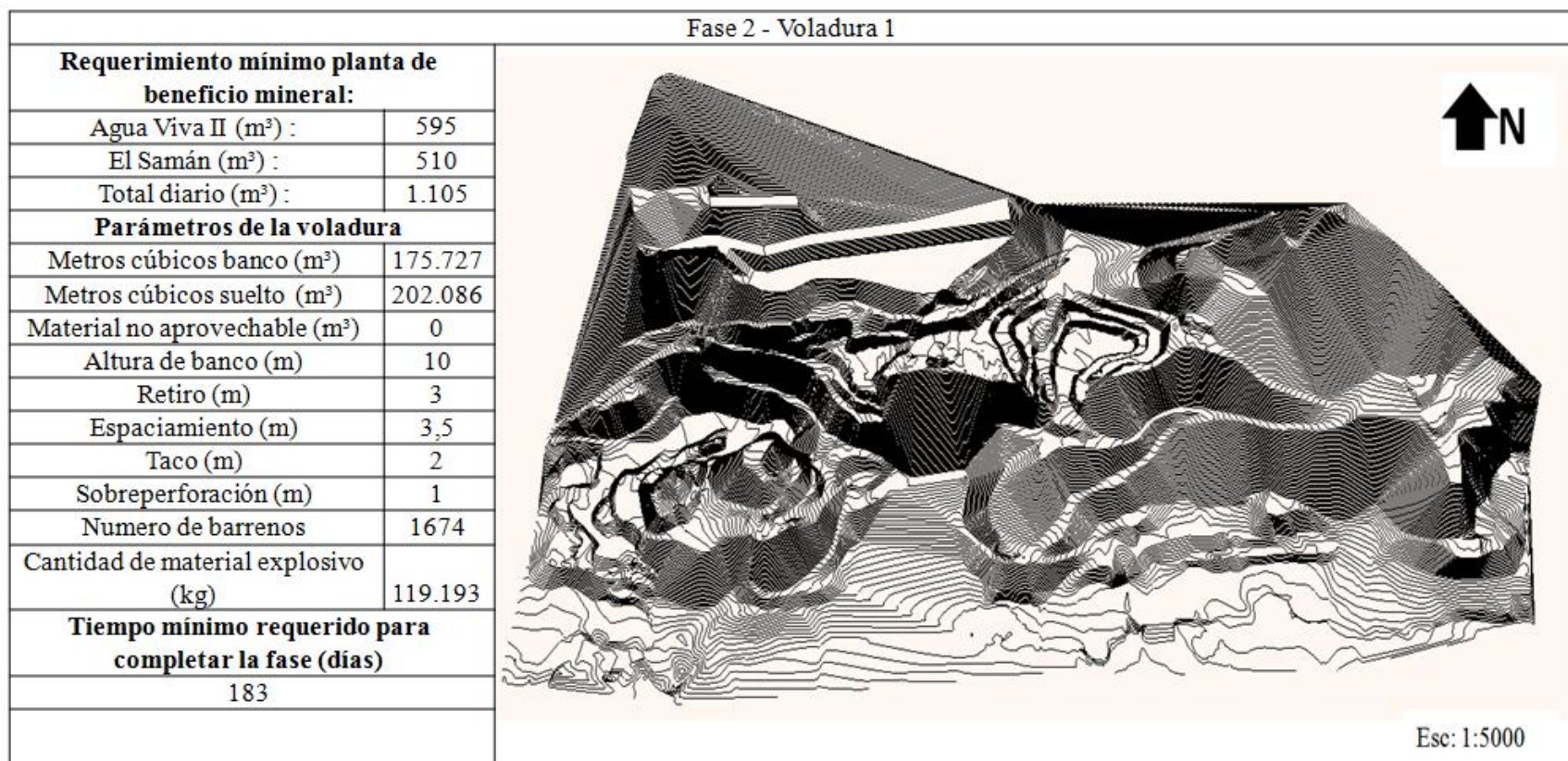
Existen muchas maneras de realizar una secuencia de explotación, la misma va a depender del planificador y de las necesidades económicas y técnicas que se tengan para ese momento. Para los efectos de este trabajo se consideran como éstas necesidades: los volúmenes a remover para generar la apertura del nuevo frente que servirá como medio para la unificación de las canteras. A partir de la Tabla 10 se exponen las etapas de la secuencia de explotación que se propone para llegar a la unión de las unidades de explotación mencionadas.

Tabla10. Primera fase de la secuencia de explotación. Fuente: Elaboración propia.



Esta primera fase de explotación comprende la remoción de cerca de 291.850 m³ de material no aprovechable, este movimiento de masa se plantea sea de forma mecánica sin necesidad de material explosivo, por tratarse de un suelo residual con poca dureza. En esta etapa se plantea que a partir de la cota 515 se comience con la explotación de material útil.

Tabla 11. Segunda fase de la secuencia de explotación Fuente: Elaboración propia.



En esta etapa se plantea la primera voladura, la cual permitirá el arranque de 175.727 m^3 de material útil a partir de la cota 515 hasta la cota 505, al tratarse de un volumen de roca muy grande se recomienda al planificador realizar el numero de voladuras que sea necesarios para cumplir con los requerimientos de las plantas que en total son $1.105 \text{ m}^3/\text{día}$. El número de voladuras va a depender de

las necesidades que se tengan según el caso. Seguidamente se muestra la secuencia de explotación con los requerimientos necesarios para llevarlas a cabo y así conseguir la unión de las canteras El Samán y Agua Viva II mediante la apertura de este nuevo frente de explotación como se muestra en las Tablas 12 a la 16.

Tabla 12. Tercera fase de la secuencia de explotación. Fuente: Elaboración propia.

Fase 3 - Voladura 2	
Requerimiento mínimo planta de beneficio mineral:	
Agua Viva II (m³) :	595
El Samán (m³) :	510
Total diario (m³) :	1.105
Parametros de la voladura	
Metros cúbicos banco (m³)	108.162
Metros cúbicos suelto (m³)	124.386
Material no aprovechable (m³)	0
Altura de banco (m)	10
Retiro (m)	3
Espaciamiento (m)	3,5
Taco (m)	2
Sobreperforación (m)	1
Numero de barrenos	1.030
Cantidad de material explosivo (kg)	79.545
Tiempo mínimo requerido para completar la fase (días)	
113	

Esc: 1:5000

Tabla 13 Cuarta fase de la secuencia de explotación. Fuente: Elaboración propia.

Fase 4 - Voladura 3	
Requerimiento mínimo planta de beneficio mineral:	
Agua Viva II (m³) :	595
El Samán (m³) :	510
Total diario (m³) :	1.105
Parámetros de la voladura	
Metros cúbicos banco (m³)	58.757
Metros cúbicos suelto (m³)	67.571
Material no aprovechable (m³)	0
Altura de banco (m)	10
Retiro (m)	3
Espaciamiento (m)	3,5
Taco (m)	2
Sobreperforación (m)	1
Numero de barrenos	560
Cantidad de material explosivo (kg)	43.212
Tiempo mínimo requerido para completar la fase (días)	
61	

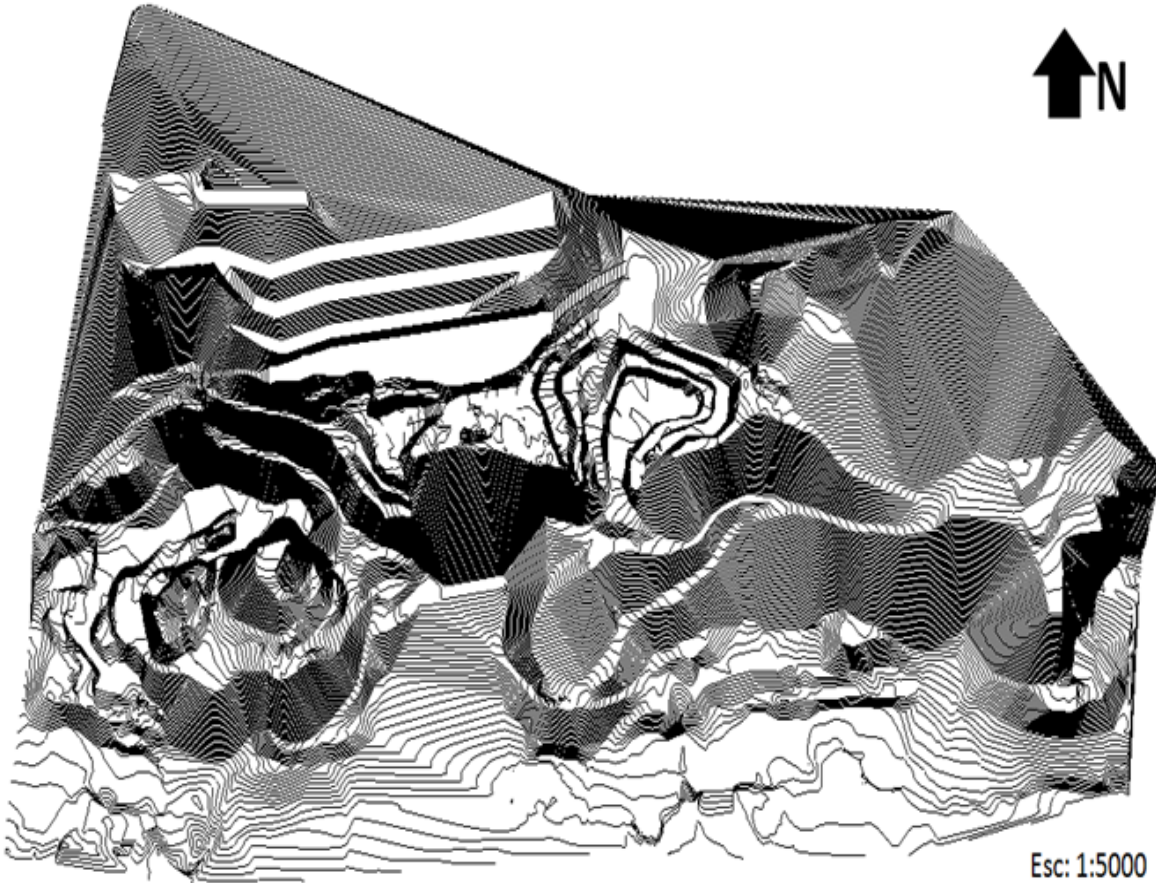


Tabla 14 Quinta fase de la secuencia de explotación. Fuente: Elaboración propia.

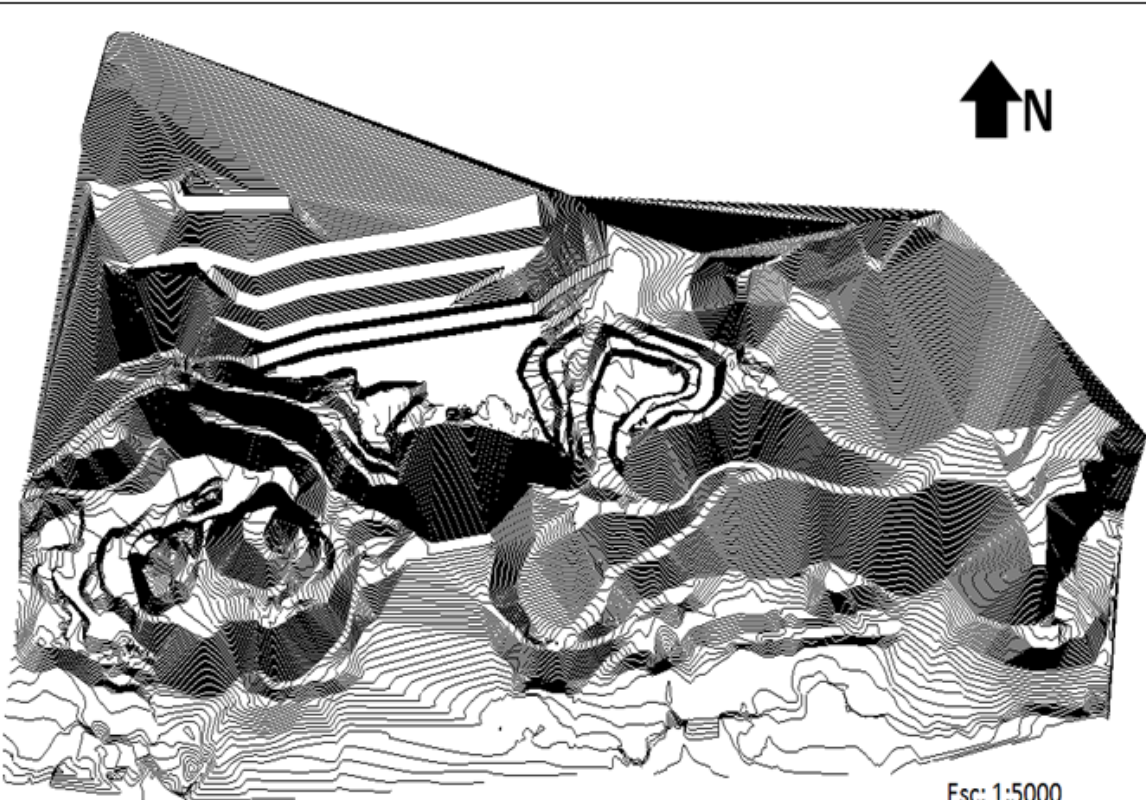
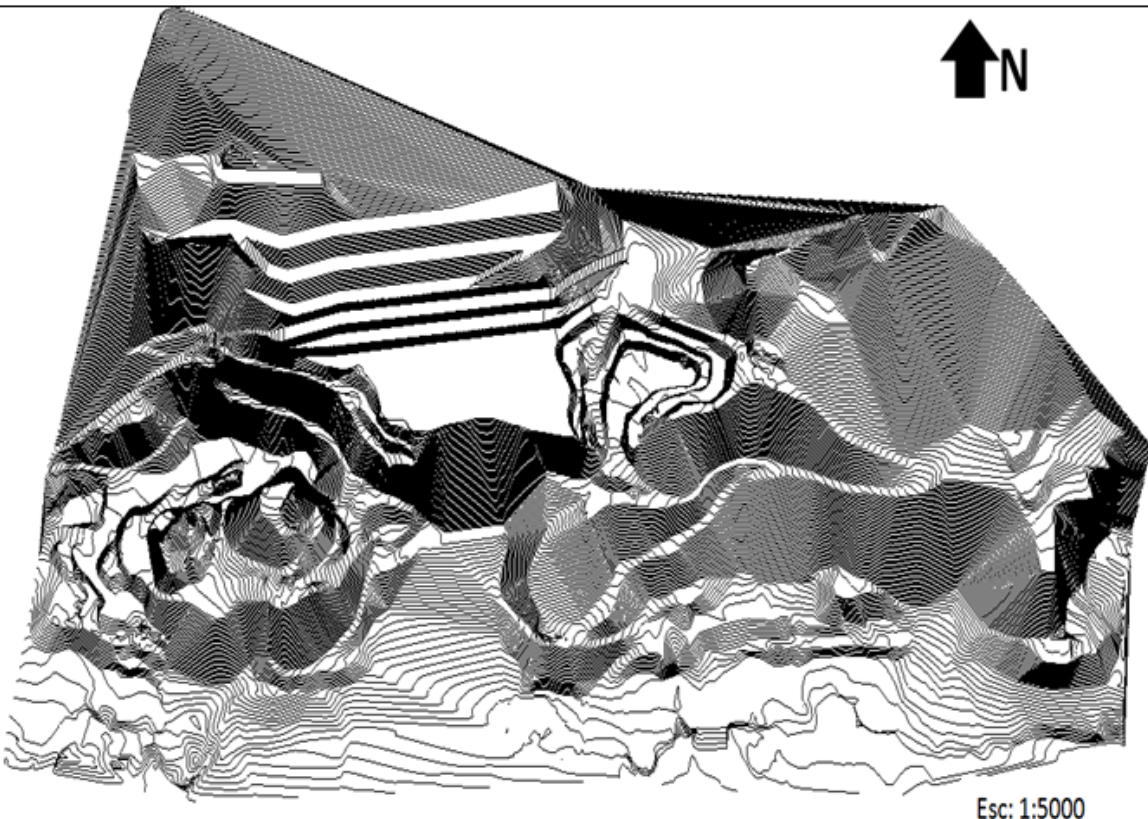
Fase 5- Voladura 4	
Requerimiento mínimo planta de beneficio mineral:	
Agua Viva II (m³) :	595
El Samán (m³) :	510
Total diario (m³) :	1.105
Parámetros de la voladura	
Metros cúbicos banco (m³)	84.614
Metros cúbicos suelto (m³)	97.306
Material no aprovechable (m³)	0
Altura de banco (m)	10
Retiro (m)	3
Espaciamiento (m)	3,5
Taco (m)	2
Sobreperforación (m)	1
Numero de barrenos	806
Cantidad de material explosivo (kg)	62.228
Tiempo mínimo requerido para completar la fase (días)	
88	
	
Esc: 1:5000	

Tabla 15. Sexta fase de la secuencia de explotación. Fuente: Elaboración propia

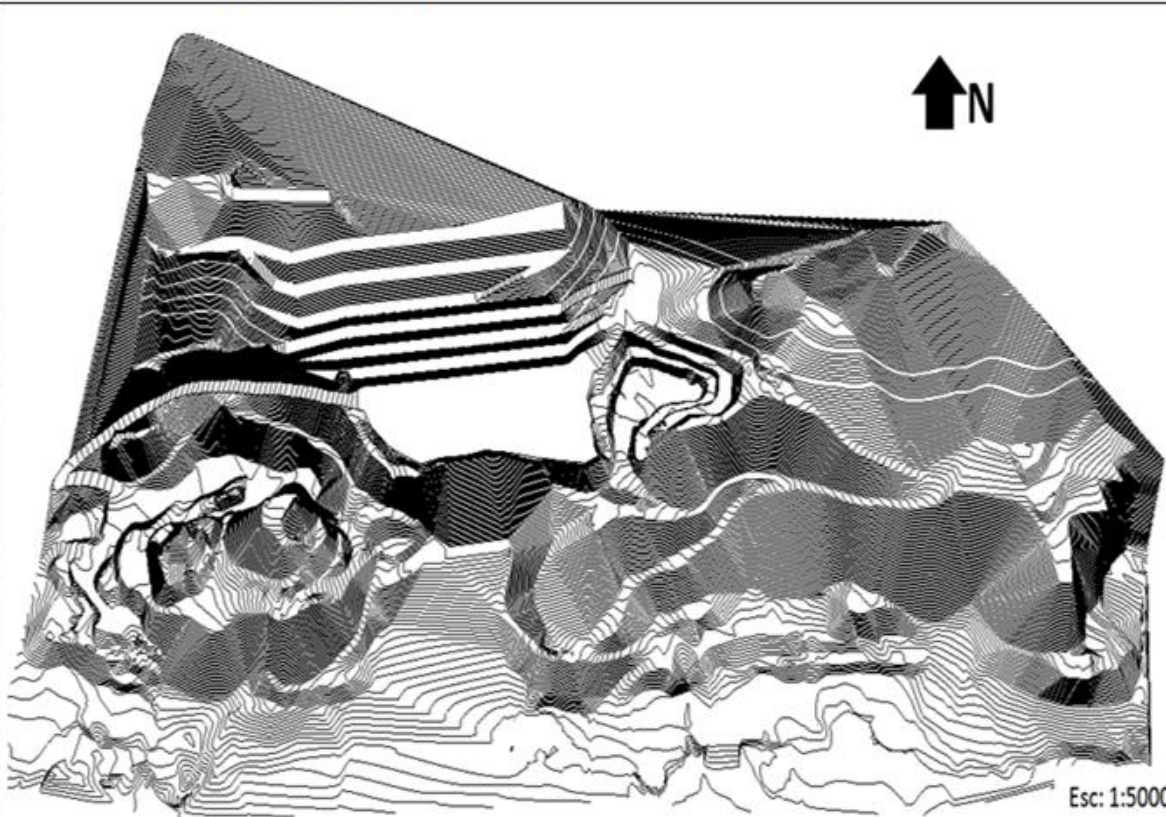
Fase 6- Voladura 5	
Requerimiento mínimo planta de beneficio mineral:	
Agua Viva II (m³) :	595
El Samán (m³) :	510
Total diario (m³) :	1.105
Parámetros de la voladura	
Metros cúbicos banco (m³)	155.706
Metros cúbicos suelto (m³)	179.062
Material no aprovechable (m³)	0
Altura de banco (m)	10
Retiro (m)	3
Espaciamiento (m)	3,5
Taco (m)	2
Sobreperforación (m)	1
Numero de barrenos	1.483
Cantidad de material explosivo (kg)	114.511
Tiempo mínimo requerido para completar la fase (días)	
162	



Esc: 1:5000

Tabla 16. Séptima fase de la secuencia de explotación. Fuente: Elaboración propia

Fase 7- Voladura 6	
Requerimiento mínimo planta de beneficio mineral:	
Agua Viva II (m³) :	595
El Samán (m³) :	510
Total diario (m³) :	1.105
Parámetros de la voladura	
Metros cúbicos banco (m³)	209.504
Metros cúbicos suelto (m³)	240.930
Material no aprovechable (m³)	0
Altura de banco (m)	10
Retiro (m)	3
Espaciamiento (m)	3,5
Taco (m)	2
Sobreperforación (m)	1
Numero de barrenos	1.995
Cantidad de material explosivo (kg)	154.075
Tiempo mínimo requerido para completar la fase (días)	
218	



Esc: 1:5000

Esta séptima etapa se logra con la apertura de este nuevo frente de explotación la unión de las canteras El Samán y Agua Viva II en la cota 455, el mismo permitirá aprovechar un material que no se tenía contemplado en la planificación de las canteras por separado, lo cual admitiría alargar eventualmente la vida útil del yacimiento a través del aprovechamiento de este recurso, mediante el diseño planteado. El tiempo mínimo necesario para lograr esta unión es de 881 días laborables, si tomamos en cuenta que el tiempo

trabajado por semana es de 5 días se puede deducir basado en los datos mínimos requeridos por la plata de beneficio, esta unión estaría concluida en aproximadamente 3 años y 7 meses, éste tiempo no considera los Índices Clave de Producción. Si se tomasen en cuenta estos ICP, el diseño geométrico se puede mantener en un tiempo diverso. En la figura 17 se muestra el diseño planteado para la unión de las canteras El Samán y Agua Viva II.

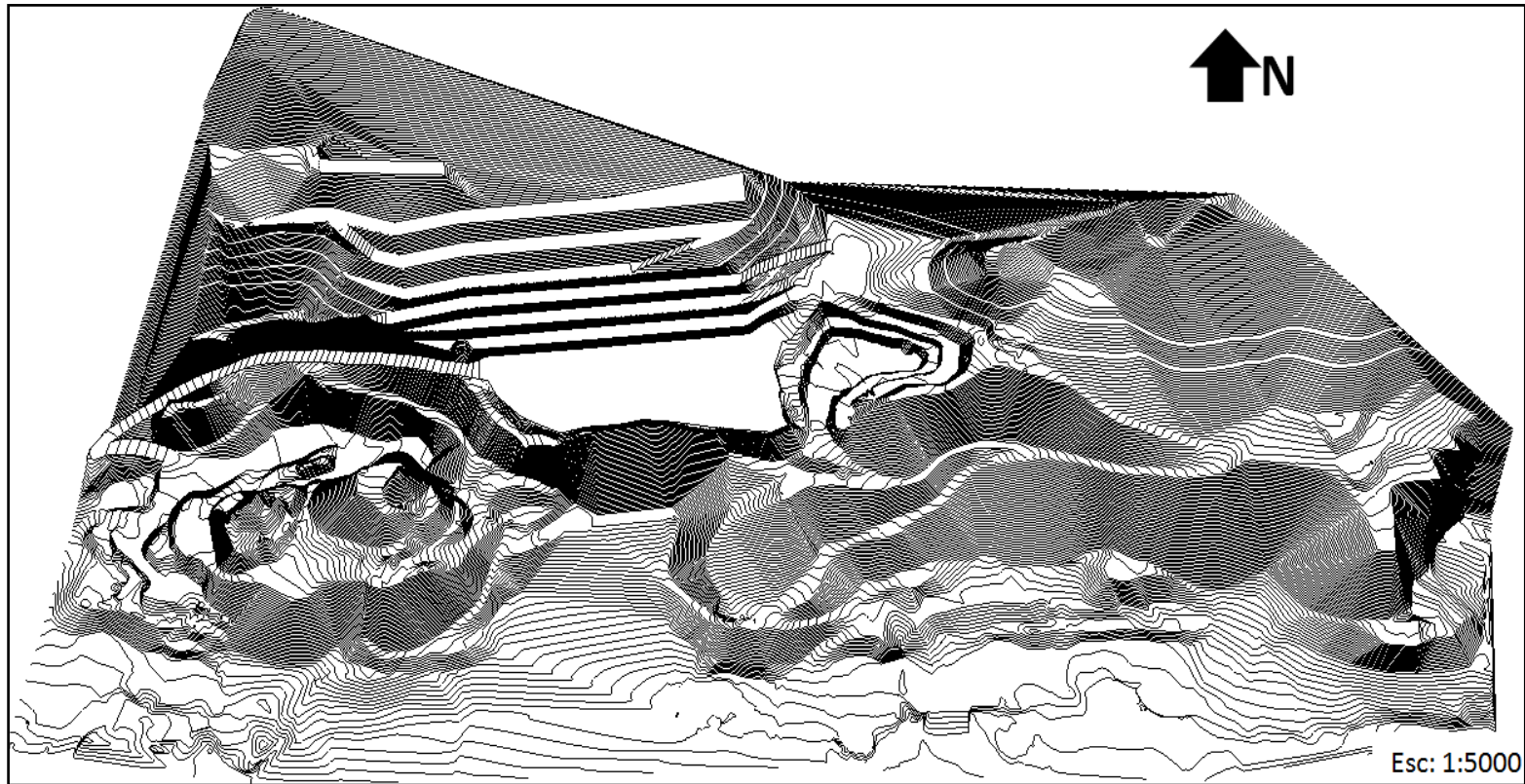


Figura 17. Diseño planteado para la unión de las canteras El Samán y Agua Viva II. Fuente. Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Una vez cumplidos los objetivos planteados en esta investigación, donde se plasma una propuesta de 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 se presentan una serie de conclusiones específicas que se enlistan a continuación:

- Basados en la topografía levantada desde la cantera Agua Viva II hasta El Samán, se estima que el material aprovechable calculado mediante el método de los perfiles es de 24.667.077,51 m³. Tomando en cuenta un consumo mínimo diario de 1.105 m³ se estima que la vida útil luego de la unificación de estas canteras es de 93 años aproximadamente.
- Una vez obtenidos los Índices Clave de Producción de los equipos de carga y acarreo en la cantera El Samán se puede apreciar que se tienen equipos en buen estado con pocas horas de mantenimiento y al compararlos entre ellos podemos inferir que si se planifican mejor las tareas de estos equipos, haciendo mayor control y seguimiento es posible incrementar las horas operativas, mejorando así su efectividad.
- Los Índices Clave de Producción en los equipos de carga y acarreo en Agua Viva II muestran circunstancias especiales, debido a la ausencia de equipos de acarreo por diferentes fallas. Se concluye que por las horas en operación una vez solventadas las fallas, estos equipos se encontrarían en condiciones óptimas para desarrollar una beneficiosa operación debido a que los equipos de carga muestran buenos ICP.
- El diseño geométrico del nuevo frente de producción que servirá como unión de las canteras El Samán y Agua Viva II, mantiene los valores hasta la fecha desarrollados por la empresa de 10 m para la altura de bancos, 80 ° el ángulo de talud de trabajo y 30 ° para el de talud final respecto a la horizontal.
- El ancho mínimo operativo es de 15,5 m este espacio es suficiente para garantizar las operaciones de mina tomando en cuenta parámetros como la distancia de seguridad, derrame de material y berma de seguridad.

- Ampliar la vialidad para conectar las canteras hasta 15,5 metros de ancho, doble vía considerando en su construcción las distancias y berma de seguridad, cuneta e inclinación transversal.
- Se establece una secuencia de explotación mediante bancos descendentes con 6 taludes que van desde la cota 515 a la 455 con un ángulo de talud final de 30° respectivamente.
- La apertura de este nuevo frente de explotación que sirve como unión de las canteras El Samán y Agua Viva II permite la extracción de 792.470 m³ de material aprovechable, en condiciones mínimas de producción, este frente estaría concluido en unos 3 años y 7 meses.

RECOMENDACIONES

- Realización de un estudio geológico-geotécnico con perforaciones que permita no solo conocer la continuidad del yacimiento, sino además la elaboración de un modelo geológico que contribuya a advertir el volumen de los recursos explotables.
- Hacer un estudio que determine la viabilidad económico-financiera de la unión de las canteras El Samán y Agua Viva II.
- Se recomienda la evaluación para la adquisición de equipos de carga y acarreo, así como, elaborar un programa y planificación de mantenimiento preventivo para estos equipos con la finalidad de mejorar su productividad. Se sugiere además, planificar la obtención de los diferentes repuestos y accesorios.
- Acompañar esta propuesta de planificación con un análisis de ciclo de vida e identificación de indicadores ambientales y aunado a esto mantener un control sobre los residuos industriales generados por la empresa.
- Se recomienda generar la secuencia de explotación en base a los Indicadores Claves de Producción de los equipos de carga y acarreo que se encuentre operativos en el momento, de este modo lograr la obtención de una actualización topográfica más óptima.
- Se sugiere evaluar con un estudio técnico, económico y financiero la comparación entre la alternativa de la unión de las canteras contra la posible apertura de un tercer frente de explotación (independiente de ambas canteras).

REFERENCIAS

Bustillo, M. y López, C. (1997) *Manual de Evaluación y diseño de explotaciones mineras*. Madrid

Carrero R., Rivero R., (2013) *Caracterización Geológica de Volumen de calizas en una zona ubicada al norte de San Sebastián de los Reyes, Edo Aragua*. Universidad Central de Venezuela. Venezuela.

Díaz P. (2014) *Geología de la Región de Belén, San Juan de los Morros y San Sebastián de Los Reyes, en los estados: Carabobo, Guárico y Aragua*. (Trabajo de Pregrado) Universidad Central de Venezuela. Venezuela.

Gómez, Berardo. (2013). *Selección del diseño óptimo en función de parámetros operativos empleando herramientas informáticas para una cantera de metacaliza de uso industrial*. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Herrera, Juan (2006) *Métodos de minería a cielo abierto*. Universidad Politécnica de Madrid.

Instituto Tecnológico Geominero De España (I.T.G.E) (1995) *Manual de arranque, carga y transporte en minería a cielo abierto*. Madrid

Konya, Calvin. (1998). *Diseño de Voladuras*. Primera edición. Cuicatl, México.

Labrador, María. (2014) *Diseño para la fusión de las canteras Agua Viva II y El Samán, considerando los planes de voladura a mediano plazo*. Universidad Central de Venezuela. Venezuela

Langerfors, U. y Kihlström, B. (1976). *Técnicas modernas de voladuras de rocas*. Bilbao, editorial urmo. 452 págs.

López, C. y otros (2000) *Recursos Minerales*, Instituto Geominero de España, Madrid.

López J., Carlos y Aduvire P., Osvaldo. (1994) *Estudios de Viabilidad en Proyectos Mineros*. ITGE, Madrid, España.

Moya, Freddy. (2015) *Verificación de la opción de producción más favorable a partir de diseños de explotación a largo plazo del Frente 02, Cantera Carayaca ubicada en Tacagua, Distrito Capital*. Universidad Central de Venezuela. Venezuela

Ortiz, F. Moyano, I. Herrera, J. De la Rosa, F. (2001). *Curso de evaluación y planificación minera*. Universidad Politécnica de Madrid.

Vargas, Marcelo. (2011). *Modelo de planificación minera de corto y mediano plazo incorporando restricciones operacionales y de mezcla*. Santiago de Chile.

ANEXOS

Anexo 1: Calculo de material aprovechable

Volumen de Material Aprovechable					
Progresiva	Area (m ²)	Volumen (m ³)	Progresiva	Area (m ²)	Volumen (m ³)
0+020	6933,0268	69330,268	0+460	31025,9374	598023,129
0+040	17704,2411	246372,679	0+480	31959,1309	629850,683
0+060	24649,7831	423540,242	0+500	34133,7577	660928,886
0+080	23857,3448	485071,279	0+520	36139,8756	702736,333
0+100	23062,52	469198,648	0+540	36648,1143	727879,899
0+120	22746,874	458093,94	0+560	36896,8666	735449,809
0+140	23514,8149	462616,889	0+580	37368,518	742653,846
0+160	24282,3411	477971,56	0+600	37747,9781	751164,961
0+180	24969,1908	492515,319	0+620	38616,8618	763648,399
0+200	24906,0469	498752,377	0+640	38986,9518	776038,136
0+220	24882,3245	497883,714	0+660	40760,8714	797478,232
0+240	24719,567	496018,915	0+680	39554,5128	803153,842
0+260	25147,4466	498670,136	0+700	37138,4694	766929,822
0+280	25904,5218	510519,684	0+720	34836,2131	719746,825
0+300	28552,7546	544572,764	0+740	33971,3214	688075,345
0+320	31157,7516	597105,062	0+760	32260,4956	662318,17
0+340	32610,9376	637686,892	0+780	29385,4875	616459,831
0+360	31737,2796	643482,172	0+800	28538,3376	579238,251
0+380	29947,5808	616848,604	0+820	27088,5569	556268,945
0+400	29365,4186	593129,994	0+840	16214,5736	433031,305
0+420	27629,7717	569951,903	0+860	10260,8344	102608,344
0+440	28776,3755	564061,472		Total	24667077,51