

Especialidad – Minas

Trabajo de Diploma Presentada en opción al título de Ingeniero en Minas

**Proyecto del esquema tecnológico de la planta de procesamiento de
áridos de la cantera Maraví**

Autor: Marcos Felipe Noé

Curso: 2018-2019

“Año 61 de la Revolución”

Especialidad – Minas

Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero en Minas

**Proyecto del esquema tecnológico de la planta de procesamiento de
áridos de la cantera Maraví**

Autor: Marcos Felipe Noé

Tutores: Dra. C. Naisma Hernández Jatib

Dr. C. Roger Samuel Almenares Reyes

Curso: 2018-2019 “

Año 61 de la Revolución

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo: Marcos Felipe Noé

Autor de este Trabajo de Diploma y los tutores **Dra. C. Naisma Hernández Jatib y Dr. C. Roger Samuel Almenares Reyes**, certificamos la propiedad intelectual a favor de la Universidad de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, hacer uso del mismo en la finalidad que estime conveniente.

Marcos Felipe Noé

Dra. C. Naisma Hernández Jatib

Dr. C. Roger Samuel Almenares Reyes

DEDICATORIA

- ❖ A Jehová mi Dios por su gracia y misericordia, que si no fuera por él, no llegaría a concebir este anhelo tangible.
- ❖ A la memoria de mi madre Virgen Adelina Sapalo, por ser eslabón primordial, que me lleva a creer que con Dios todo es posible, mostrándome el valor de tener una madre.
- ❖ A mis hermanos, amigos (a) y mis compañeros del aula, por acompañarme en esta trayectoria.

AGRADECIMIENTOS

El transcurso hasta aquí, ha sido permisible por la colaboración de varias personas a las que quiero agradecer:

- A Dios, por darme la sabiduría, pues me consiente sonreír ante todos mis logros que son resultado de su ayuda.
- A mi gobierno (Angola), y a la Revolución Cubana, por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios superiores y formarme como profesional en el “Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa”.
- A mis queridísimos padres, y a mi madrastra, por ser el motor impulsor de este sueño.
- A toda mi familia por su entrega y comprensión.
- A mi novia Justina Helena Fernanda, por su amor y atención.
- A mis hijos, por su cariño, comprensión e impulso.
- A mis tíos, por su apoyo y consejo oportuno.
- A mis hermanos de la iglesia Asamblea de Dios Pentecostal (Casa de paz), que juntos formamos una familia durante estos cinco años.
- A Enma Campo, mi queridísima madre cubana, por su genialidad y dedicación.
- A Roberto y Dalieska, por su apoyo en múltiples ocasiones.
- A Pedro Luis Cameia, por su gran ayuda en esta trayectoria.
- A mis tutores Naisma Hernández Jatib y Roger Samuel Almenares Reyes, por su capacidad profesional y entera disposición.
- A Odalis Gainza por su amistad y cariño.
- A Yexi Garlobo, Yurita Garlobo, y a todos sus hijos, por su ayuda incondicional.
- A la empresa de Materiales de la construcción de la planta de procesamiento de áridos de la cantera Maraví de la provincia de Guantánamo, por su colaboración ilimitada.
- A todos los que de una u otra forma, me han alentado, pero no he podido mencionarlos porque no alcanza el papel. Ustedes son muy importantes en mi vida, no lo duden.

Muchas gracias

PENSAMIENTO

“Las grandes mentes discuten las ideas; las mentes promedio discuten los acontecimientos; las mentes pequeñas discuten con las personas”.

Eleanor Roosevelt.

RESUMEN

La presente investigación propone elaborar el proyecto del esquema tecnológico de la planta de procesamiento de áridos de la Cantera Maraví, que permite suministrar la materia prima necesaria para el cumplimiento del Plan General de Ordenamiento Territorial del municipio Baracoa. El proyecto debe garantizar los áridos de alta resistencia que se utilizarán en la construcción de la carretera Moa-Baracoa, la cual estará destinada a la transportación de cargas generales hacia el territorio, así como, para la construcción del polo turístico que se abrirá en esta zona. La metodología utilizada parte del análisis de las características ingeniero-geológica del área, teniendo en cuenta las propiedades físico – mecánicas del mineral. Seguidamente se realizó el cálculo del esquema tecnológico, se determinaron los parámetros del proceso productivo y se eligió el equipamiento para la planta. Se planteó la evaluación de las medidas de seguridad, el plan de mantenimiento y el impacto ambiental producido por la actividad de procesamiento, así como, la propuesta de las medidas de mitigación. Los resultados obtenidos de la evaluación financiera determinaron que la implementación del estudio es factible, teniendo en cuenta que se obtuvo una VAN positiva (15 877 263.52 MN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) del 14%, está por encima de la Tasa de Descuento y la relación beneficio-costos (B/C) fue mayor que la unidad por lo que el proyecto ofrece rentabilidad.

Palabras Claves: proyecto, esquema tecnológico, procesamiento, áridos.

ABSTRACT

Present it investigation proposes elaborating the project of the technological scheme of the plant of processing of arid of the Cantera Maraví, that it allows supplying the necessary raw material for the fulfillment of Territorial Ordenamiento's General Plan of the municipality Baracoa. The project must guarantee the arid ones belonging to loud resistance that will be utilized at the construction of the road Moa Baracoa, which will be destined for the transportation of general loads toward the territory, that way I eat, for the construction of the tourist pole that will open at this zone. The utilized methodology departs from the analysis of the characteristics engineer geological of the area, taking the physical properties into account – mechanics of the mineral. Straightaway the calculation of the technological scheme came true, they determined the parameters of the productive process and the equipamiento for the plant was elected. The evaluation of the measures of certainty, the scheduled maintenance and the environmental impact produced by the activity of processing were presented, that way I eat, the proposal of the measures of mitigation. The results obtained of the financial evaluation determined that the implementation of the study is feasible, considering that one was obtained positive print (15 877 263,52 MN), the rate of return on investment GO FROM (TIR) the 14 %, benefit ranks above the discount rate and the relation cost (BC) was major than the unit so that the project offers profitability.

Key words: Project, technological scheme, processing, arid.

ÍNDICE	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.1 Introducción	5
1.2 Estado del arte.....	5
1.2.1. Plantas de tratamiento de áridos.....	5
1.2.2. Esquema de preparación de áridos.....	7
1.2.3. Tipos de esquema tecnológicos.....	7
1.2.4. Conceptualización de las reglas generales para elegir el esquema de trituración.....	8
1.3. La demanda de áridos en el mundo y en Cuba.....	9
1.3.1. Clasificación de los áridos.....	12
1.3.2. Requisitos de los proyectos de las plantas de preparación de áridos.....	12
1.3.3. Tecnología empleada para los esquemas de preparación de áridos.....	13
1.4. Breve descripción de las investigaciones precedentes en la cantera Maraví-Guantánamo	15
1.5. Fundamento legal de la investigación.....	16
CAPÍTULO II. CARACTERÍSTICAS Y PROCESO TECNOLÓGICO DE LA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE ÁRIDOS.....	18
2.1. Introducción	18
2.2. Características generales del área de estudio (cantera Maraví).....	18
2.2.1. Ubicación geográfica.....	18
2.3. Características mineralógicas, químicas y físicas de la materia prima ...	20
2.3.1. Características mineralógicas de la materia prima.....	20
2.3.2. Características químicas de la materia prima.....	20
2.3.3. Características físicas de la materia prima.....	21
2.3.4. Características tecnológicas de la materia prima.....	21

2.4. Composición granulométrica del material a procesar (NC 178:2002).....	25
2.5. Fundamentación teórica del método de cálculo para plantas procesadoras de áridos para la producción local.....	25
2.5.1. Extensión del método.....	27
2.6. Principio de selección de los esquemas tecnológicos	27
2.7. Capacidad anual de producción y vida útil de la cantera	29
2.8. Capacidad anual de procesamiento tecnológico de la planta	29
2.9. Esquema tecnológico.....	29
2.10. Presa de agua y cola	31
2.11. Régimen de trabajo y cálculo de la capacidad instalada	31
2.12. Cálculo de la capacidad instalada.....	32
2.12.1. Cálculo del esquema de trituración.....	32
2.13. Elección de la trituradora	36
2.14. Cálculos referentes al proceso de cribado	38
2.15. Selección de la criba.....	44
2.16. Fuerza de trabajo.....	45
2.17. Caracterización de los equipos que conforman el esquema tecnológico de la planta procesadora de áridos.....	46
2.18. Materiales	50
2.19. Control del proceso.....	51
CAPÍTULO III. VALORACION ECONÓMICA, SEGURIDAD INDUSTRIAL Y MEDIO AMBIENTE.....	53
3.1. Introducción	53
3.2 Valoración económica del proyecto	53
3.3. Costo de capital de la planta.....	55
3.4. Ingresos por venta de productos.....	56
3.5. Financiación de los productos	56
3.6. Análisis a partir de los criterios estadísticos	57
3.7. Seguridad industrial y medio ambiente	59
3.7.1. Seguridad Industrial.....	60
3.8. Plan de mantenimiento	61

3.9. Residuos del proceso tecnológico	61
3.9.1. Residuos propios del mantenimiento de los equipos.....	61
3.10. Impacto ambiental producido por la actividad de procesamiento	62
3.11. Medidas de mitigación	63
CONCLUSIONES.....	64
RECOMENDACIONES.....	65
BIBLIOGRAFIA.....	59
ANEXOS.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Coordenadas geográficas Lambert.....	19
Tabla 2.2 Resultados de los promedios ponderados de los elementos químicos.....	20
Tabla 2.3 Resultados del análisis de las muestras tomadas en los pozos de perforación del yacimiento Maraví.....	22
Tabla 2.4 Resultados del análisis de las muestras tomadas en los pozos de perforación del yacimiento Maraví.....	24
Tabla 2.5 Resultados de las muestras compuestas.....	25
Tabla 2.6 Régimen de trabajo de la planta.....	31
Tabla 2.7 Requisitos que debe satisfacer la trituradora.....	36
Tabla 2.8 Características tecnológicas de las trituradoras elegidas	36
Tabla 2.9 Reducción de la característica tipo a fin de obtener la característica de la materia prima inicial y del producto de una trituradora de mandíbula.....	38
Tabla 2.10 Escala de grosores para el producto de la trituradora de la segunda etapa de trituración.....	41
Tabla 2.11 Balance de masa de la planta	44
Tabla 2.12 Capacidad alimentada a las cribas.....	44
Tabla 2.13 Características tecnológicas de las cribas de la primera etapa.....	45
Tabla 2.14 Características tecnológicas de la criba de la segunda etapa.....	45
Tabla 2.15 Fuerza de trabajo de la planta.....	46
Tabla 2.16 Características tecnológicas de las cintas transportadoras modelo B800.....	47
Tabla 2.17 Características tecnológicas del precribador vibratorio modelo AVC.....	47
Tabla 2.18 Características tecnológicas del triturador primario BP 900x600....	48
Tabla 2.19 Características tecnológicas triturador CSB160x1295.....	48
Tabla 2.20 Características tecnológicas del Vaglio vibrante inclinado W 300/2 y W 500/3.....	49

Tabla 2.21 Características tecnológicas del camión marca super kamaz modelo 6520 GVW.....	49
Tabla 2.22 Características tecnológicas del buldócer frontal marca XCMG modelo TY – 230.....	50
Tabla 2.23 Materiales que se utilizarán en la planta de procesamiento.....	50
Tabla 3.1 Ingresos por venta de áridos.....	56
Tabla 3.2 Financiación de los productos	57
Tabla 3.3 Análisis económico.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. vista satelital del yacimiento Maraví.....	19
Figura 2.2. Esquema de trituración tipo BA.....	32
Figura 2.3. Características de tamaño de la materia prima inicial.....	39
Figura 2.4. Características de tamaño de la descarga de la trituradora de mandíbula.....	39
Figura 2.5. Características de tamaño de la descarga de la trituradora de la segunda etapa.....	41
Figura 2.6. Cantidad de fracciones por productos finales.....	43
Figura 3.1. Flujo de caja para 5 años.....	59

INTRODUCCIÓN

En el transcurso de los años la minería es una actividad económica del sector primario, representada por la explotación o extracción de los minerales que se han acumulado en el suelo y subsuelo en forma de yacimientos. Dependiendo del tipo de mineral a extraer, la minería se divide en metálica (cobre, oro, plata, aluminio, hierro, mercurio etc.) y no metálica, denominada minería de cantera, que son usados como materiales de construcción (arcilla, cuarzo, zafiro, esmeralda, granito mármol, mica etc.).

La industria de materiales de construcción es una de las principales ramas de la economía en Cuba, en la que desempeña un papel esencial en la explotación de yacimientos para la obtención de áridos y materiales que deben integrarse y transigir en dos esferas: la cooperación en los propósitos de los proyectos de la Revolución dando su aporte a las exigencias de las estrategias, tanto nacionales como provinciales que estén en correspondencia con el papel de cada región vinculado con el progreso sostenible para el bienestar de las necesidades de la sociedad.

En los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución en Cuba (Partido Comunista de Cuba, 2011) se enfatiza la necesidad de recuperar e incrementar la producción de materiales para la construcción que aseguren los programas inversionistas priorizados del país.

Las especificaciones de los productos de cantera para materiales de la construcción, son cada vez mayores y más difícil de cumplir de forma natural por los propios yacimientos, por lo que se acude a cubrir este déficit en las plantas de tratamiento con sistemas que van incrementando su sofisticación. A mayor exigencia de calidad del producto y cumplimiento de sus características y propiedades mayor es la preparación necesaria en la planta.

El diseño de una planta de extracción de áridos depende del tipo de yacimiento, incidiendo principalmente los parámetros geométricos que lo definen, las características del material a extraer y las distancias involucradas a los puntos

de acopio o procesamiento. El beneficio de un material de construcción comprende procesos de selección, trituración, molienda, mezcla y homogenización, lavado, y otras operaciones similares a que se somete el material explotado en bruto para que cumpla con las condiciones mínimas para un empleo específico según las necesidades de la industria e infraestructura.

Actualmente, las plantas de procesamiento de áridos se diseñan para producir una amplia gama de granulometrías, que permite adaptarse al requerimiento del cliente. La obtención de distintos tipos de áridos, en el proceso productivo se puede realizar de dos formas: húmedo y seco; este último se basa en la trituración, clasificación y operaciones complementarias. Este tipo de planta es sencilla y flexible, los costos de inversión y operación son bajos, cuenta con una alta tasa de producción y su ubicación es fácil.

La planta de procesamiento de árido se ubica dentro de los límites territoriales del municipio Baracoa, de la provincia Guantánamo, al noroeste de la ciudad, y surge precisamente como componente de un proyecto de la Industria de Materiales de la Construcción dirigido a asegurar las demandas de las obras de infraestructuras que se acometen en la ciudad de Baracoa.

El proyecto debe garantizar los áridos de alta resistencia que se utilizarán en la construcción de la carretera Moa-Baracoa, la cual estará destinada a la transportación de cargas generales hacia este territorio, así como, para el polo turístico que se abrirá en esta zona, y nuevas construcciones a ejecutar en la localidad. En el municipio se realizan inversiones que abarcan la rehabilitación y construcciones de infraestructuras de la línea de viviendas y puentes que han sido destruidos por fenómenos naturales.

Debido a la importancia que reviste las obras de infraestructuras que se acometen como plan de desarrollo económico del territorio, y social; la empresa tiene como finalidad realizar el proyecto del esquema tecnológico de la planta de procesamiento de áridos de la cantera Maraví, en el cual se definirá el conjunto de actividades para el uso eficiente y racional de los recursos de

calizas disponibles en el mismo, para el cumplimiento del Plan General de Ordenamiento Territorial del municipio Baracoa.

El yacimiento es la fuente alternativa de materia prima en función de resolver problemas apremiantes que presenta la provincia y el país para la construcción. El tipo de planta considerada para el yacimiento permanece en el lugar de la instalación durante gran parte de la vida del yacimiento, la misma se localizará en un nivel inferior respecto a la zona de extracción.

Partiendo de lo anterior se define como **problema**: la inexistencia del proyecto del esquema tecnológico de la planta de procesamiento de áridos de la cantera Maraví, del municipio Baracoa, limita la producción de áridos para la fabricación de asfalto que se incluye en el plan de desarrollo económico y social del territorio.

Objeto de estudio: proyecto del esquema tecnológico de la planta de procesamiento de áridos de la cantera Maraví, del municipio Baracoa.

Objetivo general: elaborar el proyecto del esquema tecnológico de la planta de procesamiento de áridos de la cantera Maraví.

Campo de acción: la planta de procesamiento de áridos de la cantera Maraví.

Hipótesis: si se analizan las propiedades físico mecánicas de la materia prima, se calcula el esquema tecnológico, se realiza la valoración económica del proyecto, y proponen las medidas de seguridad industrial y de mitigación de impacto ambiental en la planta de procesamiento de áridos, entonces se podrá elaborar el proyecto del esquema tecnológico de la planta de procesamiento de áridos de la cantera Maraví.

Del objetivo general se proceden los siguientes **objetivos específicos**:

1. Caracterización de las propiedades físico-mecánicas de la materia prima.
2. Seleccionar y calcular el esquema tecnológico de la planta de procesamiento.
3. Realizar la valoración económica del proyecto.

4. Elaborar las medidas de seguridad industrial y de mitigación de impacto ambiental en la planta de procesamiento de áridos.

De los principales métodos de investigación científica empleados en el trabajo se declaran a continuación:

Empírico:

- Observación: para percibir visualmente el lugar donde se emplazará la planta y los elementos geomorfológicos y topográficos existentes en el mismo.
- Compilación: permite reunir y sistematizar información mediante la revisión de fuentes bibliográficas, orales, digitales o de otro tipo.

Teóricos:

- Histórico-lógico: para estudiar y valorar la situación geográfica del área de estudio y establecer los fundamentos teóricos del proceso objeto de estudio.
- Análisis-síntesis: para estudiar las características tecnológicas de la materia prima y establecer conclusiones para desarrollar su procesamiento.
- Hipotético-Deductivo: para la formulación de la hipótesis y luego, a partir de inferencias lógicas-deductivas, se arriba a conclusiones particulares que posteriormente se pueden comprobar.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

El presente capítulo tiene como objetivo ofrecer una perspectiva general sobre las tendencias actuales de los equipamientos y sistemas para la preparación de minerales en el mundo y la producción de áridos en Cuba, además un breve acercamiento a las investigaciones precedentes en la cantera.

1.2 Estado del arte

1.2.1. Plantas de tratamiento de áridos

Una planta de procesamiento de minerales es una instalación física dónde se realiza la fase industrial del proceso minero, sea este mecánico (Trituradores, zarandas, molinos, ciclones, etc.), químico o biológico, incluyendo el proceso de concentración, fundición y refinado. Las plantas de fragmentación y clasificación están destinadas a la quebrantadura y cribado de minerales ricos en hierro y calizas, a la preparación de piedra machacada para la construcción, clasificación de piroesquistos y carbones (Rázumov and Perov 1982).

Las plantas de tratamiento de áridos tienen la función de procesar los áridos que vienen de los frentes de explotación de las canteras o graveras y producir diferentes fracciones granulométricas en función de la demanda o del sector de destino final de las mismas, siendo la mayor parte de la producción destinada a la fabricación de hormigón, y en menor medida para firmes de carreteras, balastos, morteros (Cagigas 2018).

Los criterios que han de seguirse en la selección de los elementos constituyentes de la planta, tienen en cuenta el tipo y características de la alimentación de la misma, las reservas minerales, la flexibilidad y versatilidad, adecuación medio ambiental, seguridad y la calidad final de los productos procesados. Las plantas de tratamiento consisten en dos líneas de

procesamiento: una línea de proceso para agregados gruesos de 25 mm y otra donde se obtiene arena o piedra de polvo (Restrepo 2016).

Material de entrada: factor clave en el diseño de la planta, ya que es importante seleccionar la maquinaria más adecuada para las características de los elementos de alimentación.

Reservas minerales: este aspecto es primordial desde el punto de vista de la amortización del equipo, pues una vez conocido el tamaño de las reservas, se calcula el tiempo de disponibilidad, teniendo en cuenta la demanda del mercado, debido a que el período de amortización no puede ser superior al tiempo de disponibilidad, en casos puntuales, como la posibilidad de ampliación de la reserva con trabajos de investigación o por traslados de planta.

Flexibilidad y versatilidad de la planta: es otro de los factores significativos en el diseño de la planta, pues las instalaciones deben adaptarse a las variaciones del sector, es debido a:

- Frecuentes y rápidas variaciones en los sectores receptores de los áridos, que en muchos casos están asociados a grandes proyectos con plazos determinados, por lo que es vital que la planta tenga la capacidad de adaptación de los flujos de caudal con instalaciones modulares, por ejemplo: posibles variaciones de demanda por determinado tipo granulométrico, por lo que debe adaptarse a las diversas demandas.
- Movilidad en el punto de ejecución, por lo que se hace necesario el cambio de la ubicación de la planta. Esto hace que las estructuras de obra civil y calderería tengan que ser de fácil montaje y desmontaje.

Adecuación medio ambiental y de seguridad: En el diseño de la planta es fundamental la adecuación a las normativas más restrictivas en materias medio ambientales y de seguridad. Estas medidas sirven para proteger tanto a los trabajadores de la planta como a los ciudadanos residentes en la zona cercana a la planta. En este punto se pueden diferenciar dos tipos de emisión:

- Instalaciones por vía seca: En este tipo de instalaciones hay que controlar y reducir las emisiones de polvo (tanto en operaciones de descarga del material como en las operaciones de trituración y cribado). Esto se reduce con equipos captadores de polvo, inyección de agua e instalación de carenados.
- Instalaciones por vía húmeda: En las instalaciones en vía húmeda el problema es debido a la producción de lodos y su posible vertido a cauces públicos. Esto se evita con la instalación de espesadores y de filtros prensa deshidratadores. Estos equipos se están convirtiendo en elementos de obligada instalación en las declaraciones de impacto ambiental y consiguen recuperar parte del agua del proceso (Cagigas 2018).

El procesamiento de la planta objeto de estudio se realizará por vía seca.

1.2.2. Esquema de preparación de áridos

El esquema de preparación de áridos es aquella representación gráfica que contiene los datos acerca de la calidad y productos que se obtienen después de su tratamiento, así como los datos sobre el régimen de preparación en disímiles operaciones, recibe el nombre de cualitativo (Rázumov and Perov 1982). Mientras que las plantas de beneficio, están destinadas a los procesos de separación de los componentes de acuerdo a sus tamaños y sus propiedades físico-mecánicas. Para estudiar estos métodos es favorable conocer el esquema de preparación.

1.2.3. Tipos de esquema tecnológicos

- Esquemas de trituración en molinos de barra y de bolas.
- Esquemas de dos etapas con ciclo abierto en la primera etapa de trituración.
- Esquemas de dos etapas con ciclo parcialmente cerrado en la primera etapa.
- Esquema de autotrituración y semiautotrituración mineral.

1.2.4. Conceptualización de las reglas generales para elegir el esquema de trituración

Los esquemas de preparación de minerales que contienen las operaciones de fragmentación, cribado y trituración , se crean partiendo de las propiedades de la materia prima: tenacidad, composición granulométrica, humedad, contenido de arcilla, capacidad de cribado, triturabilidad y características tecnológicas de la maquinaria que es posible aplicar (Rázumov and Perov 1982).

Primera regla

- El número de etapas para quebrantadura durante la preparación de los áridos para la trituración debe ser igual a dos o tres.

Puede hacerse excepciones de esta regla para las plantas de preparación con productividad muy grande (más de 40-60 mil t/días), en tales casos, se emplean esquemas de quebrantadura de cuatro etapas.

Segunda regla:

- El cribado previo antes de la primera etapa, se utiliza raras veces y al hacer uso de él, es necesario una fundamentación especial.
- Por regla, el cribado previo antes de la segunda etapa se prevé; su refutación debe ser argumentada.
- Antes de la tercera etapa siempre se prevé el cribado previo: es utilizado para reducir la cantidad de material alimentado a la trituración, y aumentar la movilidad del material en zona activa de la trituración.

Tercera regla:

- Para obtener el producto triturado de grosor óptimo, que asegure el funcionamiento económico de los molinos de barra y bolas de todo el complejo de trituración en la última etapa de fragmentación, la operación de cribado de control se debe ejecutar.

De acuerdo a las reglas enunciadas para la elección, dos grupos de esquemas pueden ser considerados racionales: uno para obtener el producto de grosor no más de 25 mm y el segundo, para productos más finos que 10-20 mm.

Los esquemas (BB) pertenecientes a las dos etapas, son aplicables para trozos de pequeño grosor del material inicial y el BBB de tres etapas para los trozos grandes. Ambos aseguran la obtención de un producto de grosor menor que 25 mm. Los esquemas con ciclo cerrado en la última etapa, obtienen un producto de grosor de 10-20 mm. El esquema BA de dos etapas sirve para el material inicial menudo y BBA, para el grueso (hasta 1200 mm).

1.3. La demanda de áridos en el mundo y en Cuba

La industria de preparación de áridos se posiciona como uno de los pilares básicos de la minería a nivel mundial. Esto se debe a que cuentan con plantas con tecnología de punta, reduciendo así los costos de transporte, ya que son materias abundantes y baratas, convirtiéndose en indispensables para la sociedad.

Los áridos de una forma más amplia, se pueden definir como materiales minerales, sólidos inertes, que después de adecuar su granulometría, tras sufrir un proceso de tratamiento industrial. Al revisar las cifras internacionales de exportación de los principales productores de los áridos en el mundo, se observa que la principal utilización es de carácter doméstico. Uno de los mayores productores en el mundo es Estados Unidos, destinando al menos el 1% de su producción anual a la exportación a América Latina (Acevedo and Guerra 2005).

En los siglos XIX y XX, hasta hoy, se ha diversificado la aplicación de la técnica de preparación de minerales a nivel mundial con grandes cambios; para satisfacer las crecientes necesidades de la humanidad, llegando en la actualidad a una competencia extraordinariamente masiva en todos los países del mundo, y generando en algunas regiones el agotamiento de los yacimientos

aprovechables. Los usos actuales corresponden a dos grandes líneas: como producto final, o como materia prima para nuevas tecnologías.

Las plantas productoras de áridos ocupan un papel importante dentro de las líneas de interés de cada país, dado los volúmenes anuales que se consumen tanto para dar respuesta a las demandas internas del país como los que son destinados a la exportación, es por eso que cada país introduce sistemas automatizados de mando del proceso tecnológico en las plantas, haciendo uso de regímenes que gestionan las instalaciones de la planta según las necesidades de la misma, utilizando para ello, una serie de variables a interpretar.

Todo esto ha sido posible con el desarrollo creciente de nuevas tecnologías que permitieron incrementar las producciones mediante la incorporación al proceso de maquinaria fija y móvil, cada vez con mayor capacidad. De este modo, ha ido progresando el tamaño de las explotaciones de áridos a cielo abierto, denominadas canteras y graveras. La obtención de las plantas con tecnologías modernas puede llegar a producir aproximadamente, más de un millón de toneladas al año. (Acevedo and Guerra 2005, Carrazana-González 2009).

La demanda de recursos minerales es mayor y las exigencias que arriban con dichas demandas van en aumento, por lo que se vuelve indispensable la adquisición de plantas con nuevas tecnologías y proyectos que garantizan la calidad de las toneladas de minerales extraídos. El avance de la ciencia y la tecnología es acelerado, por lo que afecta todas las ramas de la economía en los ámbitos mundiales, ejemplo de esto, viene reflejado en las plantas de proceso tecnológico que van renovando su técnica y tecnología con el objetivo de lograr un mejor aprovechamiento de la materia prima y un aumento de su rendimiento y calidad.

(Gonzales, Trillo et al. 2010), abordan en su investigación el carácter de la alimentación de las trituradoras, con piezas molidoras de acero y predominan los esquemas de trituración con ciclo cerrado en la última etapa. Se fabrican

maquinarias en serie de alto rendimiento y grandes dimensiones, es decir, trituradoras para trituración media y fina con conos de diámetro que varían de 2 000 - 3 000 mm y cribas vibrantes con tamiz de un área de más de 15 m².

En Cuba según la NC 251:2005 el árido es el mineral procedente de rocas que se encuentran desintegradas en estado natural o precisan de trituración mediante procesos industriales. Las dimensiones son diferentes, varían desde 0,149 mm hasta un tamaño máximo especificado.

Para la producción de áridos de trituración se utilizan en Cuba varios tipos de rocas como calizas, calizas dolomíticas y margas; el país cuenta aproximadamente, con más de 100 yacimientos distribuidos por todo el territorio nacional y con más de 1 300 millones de metros cúbicos de recursos calculados (Batista 2019).

En la actualidad, se encuentran en producción nacionalmente, más de 100 canteras a cielo abierto para la obtención de áridos de diferentes granulometrías, destinados a la producción de morteros gravas y hormigones. De forma general, los procesos de instalación tecnológica y del estado en que se encuentre la materia prima, haría que se desarrollaran procesos de obtención de áridos en su forma natural o procesos de preparación mecánica y beneficio (Carrazana-González 2009).

En el año 2005 el Comandante en Jefe Fidel Castro aprobó como parte de un proceso inversionista para la Industria de Materiales de la Construcción 54 millones de dólares, para respaldar las obras que ya se iniciaban en la Batalla de Ideas y el Programa de la vivienda que vendría después, y se aprueban proyectos para la instalación y actualización de plantas de procesamiento de áridos a lo largo de todo el país.

Las plantas productoras que existen en el país posibilitan alta capacidad productiva instalada, reduciendo a límites permisibles las afectaciones al medio ambiente, ahorro energético y mejoras en las condiciones de trabajo, lo cual permite brindar cobertura a los intereses constructivos nacionales.

En varias provincias del país se realizan inversiones que abarcan el mantenimiento y reparación de los equipos de la línea productiva y de igual manera la maquinaria automotriz del frente de cantera. Esta rehabilitación industrial permite un aumento en los niveles de producción, que pasa de una capacidad de más 400 m³/día de áridos a más de 600 m³/día.

1.3.1. Clasificación de los áridos

Los criterios usados para su clasificación son diversos, debido a que dentro de un mismo tipo de árido, las variaciones con las que pueden contar son infinitas, llegando a encontrarse diferentes tipos en una misma cantera, e incluso en un mismo frente. Por lo tanto, de una forma genérica y atendiendo a criterios de procedencia y de su proceso de obtención, se clasifica de la siguiente manera: áridos naturales, áridos granulares, áridos de trituración, áridos artificiales y áridos reciclados (Cagigas 2018)

1.3.2. Requisitos de los proyectos de las plantas de preparación de áridos

Em los proyectos de las plantas de preparación mecánica y beneficio de materiales de construcción se presentan los siguientes requisitos fundamentales (Rázumov and Perov 1982):

- 1) Utilización racional y compleja de los recursos minerales; con el fin de elevar la rentabilidad de la empresa de preparación que se proyecta, y hallar las vías para el empleo de los desechos de la producción (tecnología sin desechos).
- 2) Aseguramiento de la alta productividad del trabajo, lo que debe alcanzarse con la ayuda de los procesos tecnológicos, la utilización de maquinarias de alto rendimiento, la mecanización compleja de los procesos de producción, la automatización de la verificación y el control de la producción.
- 3) Asimilación económica del terreno, medio y métodos eficaces de protección del medio ambiente contra la contaminación. Sistema racional de abastecimiento del agua de circulación, reducción de la cantidad de desagües e

introducción de tecnología sin ellos, recultivación de las escombreras para los residuos y rocas y depuración de los gases expulsados a la atmósfera.

4) Utilizar maquinarias y estructuras de construcción tipificadas, proyectos tipo conjuntos compositivos individuales y de talleres. Además, en caso de modificar materia prima de una misma especie, deben emplearse proyectos típicos de las fábricas de preparación de minerales en su total.

5) Hacer uso de la posibilidad de cooperación de la planta que se proyecta con otras empresas de la región, al resolver los problemas relacionados con el abastecimiento de energía eléctrica, agua, la creación de poblados, la canalización, transporte, servicio de bomberos, mantenimiento de las maquinarias de la planta, su reparación, entre otros.

6) Elección de las soluciones más económica del plan general de la fábrica que se proyecta, mediante la disposición compacta de sus talleres en el solar industrial e incluso, si esto es posible, situar los talleres en naves comunes.

7) No tolerar excesos en los volúmenes y áreas de los locales de producción, administrativas y vestuarios, así como el acabado de exteriores e interiores.

8) Garantizar la seguridad del trabajo en la planta.

1.3.3. Tecnología empleada para los esquemas de preparación de áridos

Los materiales extraídos de canteras y graveras no tienen el tamaño y forma necesarios para los usos que se da a los áridos en la construcción, pues se precisa reducción de tamaño y clasificación por granulometrías. Para esto se emplean equipos de trituración, molienda y clasificación de diferentes tipos según la roca a tratar y los productos que se quieran obtener.

Trituradoras o quebrantadoras: de mandíbula; de cono de trituración media y fina; de rodillos y otros.

Molinos: molinos giratorios de compresión (de barras); molinos de fricción; molinos giratorios (molino de bolas, molino de tubos), molinos de martillos con

clasificación interna; pulverizadores; cribas (de barros y otros); bandas transportadoras e hidrociclones.

El equipamiento que compone los esquemas tecnológicos de obtención de áridos es muy diverso, por lo general deben cumplir determinadas características en los procesos de preparación mecánica y selección de los materiales de construcción.

Las operaciones de fragmentación pueden dividirse en:

- Trituración primaria, que proporciona trozos de rocas de gran tamaño (mayor de tanto) a partir de los bloques extraídos en las canteras. Esta operación también se conoce como pretrituración o premachaqueo.
- Trituración media, que produce trozos de rocas para áridos de tamaño medio. 3) Trituradores para la obtención de gravas.
- Trituradores para la obtención de áridos finos (arenas menores de 5 mm).
- Pulverizadores y molinos, donde se producen los polvos de los áridos.

Las operaciones 1 y 2 se les denominan trituración primaria, a la operación 3 trituración secundaria, a las operaciones 4 y 5 trituración fina y polvorizada respectivamente.

Por lo general, los trituradores secundarios reducen el material hasta un tamaño de 10 y 100 mm. Obteniendo de esta manera, un producto final o un tamaño apropiado. Los equipos de trituración secundaria que se plantean son: triturador de cono y triturador de impactos de eje horizontal (Eiranova 2012).

El molino de cono se elegirá siempre que se requiera producciones elevadas de rocas con una alta abrasividad y cuya friabilidad sea media o baja. Debe proporcionar que el coeficiente de reducción exigido no sea alto y esté en la norma para lo producido, para que el árido emanado sea válido. Se desestima el triturador de impacto por la abrasividad de la roca y se elige el de cono (Eiranova 2012).

En el dimensionamiento del cono, se ha de tener en cuenta dos aspectos importantes: el tamaño al que debe reducir el cono el material rechazado y la cantidad de material que llegará rechazado de la criba.

1.4. Breve descripción de las investigaciones precedentes en la cantera Maraví-Guantánamo

En la región de Baracoa se han realizado numerosos estudios geológicos para la explotación de materiales de construcción. Entre los yacimientos estudiados geológicamente, se conocen el yacimiento Tacajó y el de Loma El Yunque formados por calizas duras y cavernosas. De ellos solo se explotaba el yacimiento Tacajó en el período desde 1966 hasta 1976, culminando su explotación por las condiciones de calidad de la materia prima. En el yacimiento Loma del Yunque no se han realizado extracciones, ya que independiente de sus condiciones de explotación extremadamente difíciles constituyen un monumento nacional.

A partir del año 1977 se comenzó la extracción de cantos en el río Miel hasta la actualidad, para su utilización como piedra triturada. En 1976 se edita el informe geológico escala 1:250 000 realizado por la Brigada Cubana - húngara, en el cual se plasma el resultado del levantamiento de la antigua provincia de Oriente. Alrededor de los años 1977 - 1981 se realizaron los trabajos de Búsqueda y Levantamiento Geológico, escala 1: 100 000 en las montañas de la Sierra del Purial, al norte de la provincia Guantánamo; estos trabajos dan un mayor grado de conocimiento de la geología de la región, pero sus límites dejan fuera el área donde se encuentra el sector Maraví.

Se efectuaron en el año 1983 a solicitud del Centro Minero Geológico y de Proyecto del MICONS, trabajos de búsqueda, exploración preliminar y exploración detallada de calizas en Baracoa, provincia Guantánamo, con el fin de asegurar la base de materias primas a una Planta Trituradora Clasificadora Móvil ITGM-200 que se proyecta construir en el mencionado territorio. Se evaluaron los sectores Pedrera y Maraví, con el objetivo de localizar un

yacimiento de caliza que pudiera suplir las necesidades de piedra caliza para la construcción.

En el sector Maraví se realizaron 5 pozos de perforación con toma de muestras, a las cuales se les realizaron ensayos geotécnicos y químicos para evaluar las propiedades físico–mecánicas de la materia prima; se les realizó, además, un estudio petrográfico y paleontológico.

En el año 1983 se aprobó “Búsqueda Detallada Piedra Baracoa. Provincia Guantánamo”, realizado por la Empresa Geominera Oriente de Santiago de Cuba, el cual plasma los resultados de estas investigaciones. Con la finalidad de realizar la explotación del yacimiento Maraví, se aprobó, por parte de la Dirección Municipal de Planificación Física, Baracoa, el certificado de Microlocalización con código 3504-125-0201-2-443-17.

1.5. Fundamento legal de la investigación

La base legal de la investigación se sustenta en la Ley 76 de Minas, aprobada el 21 de diciembre de 1994, que constituye el instrumento jurídico más importante en cuanto a la gestión de los recursos minerales.

En el **ARTÍCULO 41** de la segunda sección inciso a)”... hay que realizar los trabajos basados en un proyecto que fundamente sus objetivos y resultados...”; mientras que en el inciso b)”... hay que informar a la Autoridad Minera acerca del resultado de sus trabajos, según lo establecido en el Reglamento de la presente Ley”; asimismo establece en el inciso c)”...hay que preservar adecuadamente el medio ambiente y las condiciones ecológicas del área objeto de la concesión, elaborando estudios de impacto ambiental y planes para prevenir, mitigar, controlar, rehabilitar y compensar dicho impacto derivado de sus actividades.

Esta Ley también dispone en el **ARTÍCULO 44**: Además de las obligaciones generales establecidas en el artículo 41, los concesionarios de procesamiento tienen las siguientes obligaciones:

- a) iniciar el procesamiento en un plazo máximo de tres años, contados a partir de la fecha del título.
- b) elaborar y someter a la aprobación de la Autoridad Minera, según el procedimiento que se prevea en Reglamento de la presente Ley, el proyecto para el procesamiento de los recursos minerales.
- c) informar a la Autoridad Minera el plan anual procesamiento.
- d) realizar investigaciones técnico-productivas para mejorar la eficiencia económica del proceso industrial.
- e) brindar facilidades para el procesamiento de los minerales provenientes de las pequeñas producciones mineras.

Otro soporte legal de esta investigación es el Reglamento de la Ley de Minas que decreta en el **ARTÍCULO 74** en el inciso d)” ...que el titular de un derecho minero tiene la obligación de entregar a la Autoridad Minera la siguiente información: la actualización o modificación que se realice al proyecto de explotación o procesamiento, o ambos, 15 días antes del comienzo de su ejecución...”

Este estudio además se respalda en los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución aprobados en VI Congreso del Partido. Tales como: Lineamiento número 138, 218 y 233.

CAPÍTULO II. CARACTERÍSTICAS Y PROCESO TECNOLÓGICO DE LA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE ÁRIDOS

2.1. Introducción

En el presente capítulo, a partir de la información recopilada sobre las características de la materia prima, el producto final, los aspectos tecnológicos de los mismos, y teniendo en cuenta la capacidad productiva que se pretende obtener de la planta, se selecciona y se calcula el esquema tecnológico, la capacidad instalada y el equipamiento de la instalación. Asimismo, se establece la determinación del régimen de trabajo de la planta procesadora de áridos para materiales de construcción, mano de obra, materiales y control del proceso tecnológico.

2.2. Características generales del área de estudio (cantera Maraví)

2.2.1. Ubicación geográfica

El área objeto de estudio, se encuentra ubicada en el municipio de Baracoa perteneciente a la provincia Guantánamo, al noroeste de la ciudad. Se accede a la zona por la carretera central que une a la ciudad de Baracoa con la ciudad de Moa. Se encuentra a pocos metros de la carretera, por lo que desde la entrada del camino al yacimiento se puede acceder fácilmente. El área se localiza en el asentamiento Maraví perteneciente al consejo popular Cayo Güin.

El yacimiento constituye un terreno de piedra caliza con cota de 100 - 80 en casi toda su extensión, hacia el noreste las cotas descienden de 80 – 58 que se evidencian con la presencia de una ladera abrupta o paredón casi vertical.

- Coordenadas de la microlocalización

Las coordenadas geográficas, donde se encuentra el yacimiento, son las siguientes:

20° - 25 latitud Norte

74° - 33 longitud Norte

El área de estudio se puede localizar en la hoja cartográfica N° 5277 II Cayo Güin a escala 1:50 000 delimitada por las coordenadas geográficas Lambert (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Coordenadas geográficas Lambert

Vértices	Coordenada x(m)	Coordenada y(m)
I	737 924	198 047
II	737 924	197 896
III	737 725	197 820
IV	737 506	197 995

En la figura 2.1, se muestra una vista 3D del área donde se ubica el yacimiento Maraví.

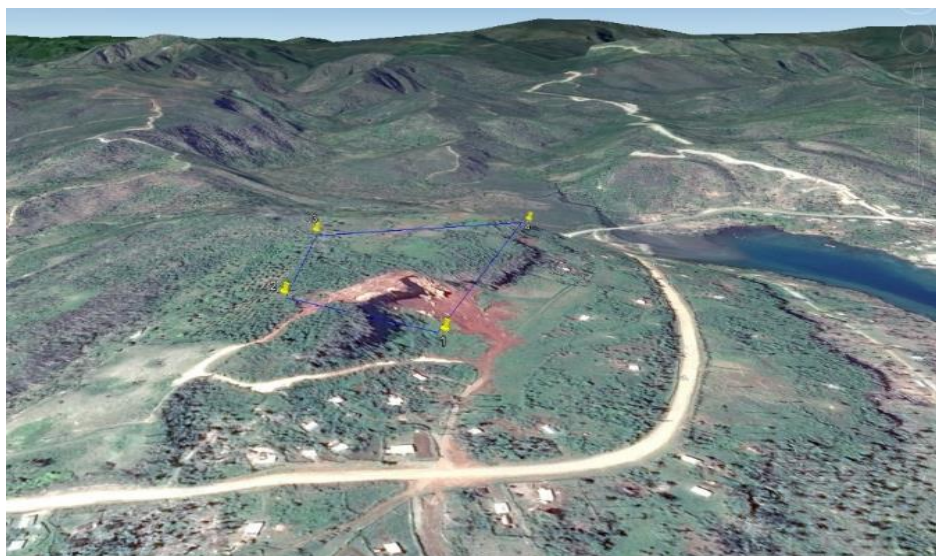


Figura 2.1 Vista satelital yacimiento Maraví. Tomado de informe de Ceperóníquel, 2018.

2.3. Características mineralógicas, químicas y físicas de la materia prima

2.3.1. Características mineralógicas de la materia prima

El yacimiento Maraví está constituido fundamentalmente por calizas organógenas pelitomórficas recrystalizadas, masivas con gran desarrollo del carso. La aflorabilidad se manifiesta en las zonas alrededor de los pozos de perforación y en la parte norte, donde aparece una ladera o paredón casi vertical. El límite norte del área está cubierto totalmente por arcilla de color rojizo algo plástica, con fragmentos de calizas idénticas a la de la zona superior del corte rocoso.

2.3.2. Características químicas de la materia prima

Los análisis químicos se realizaron con el objetivo de conocer la composición química de las rocas. Se realizó análisis químico para determinar la presencia de los elementos CaO, MgO, SO₃, Fe₂O₃, Al₂O₃, SiO₂ y PPI, lo cual permitirá determinar el tipo de roca y el contenido de sustancias arcillosas.

Según el análisis de los contenidos químicos se determinó que las rocas del yacimiento se denominan calizas y calizas poco arcillosas de acuerdo al contenido de CaO, de sustancias arcillosas (SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃) y del MgO. En la tabla 2.2 se muestran los resultados de los promedios ponderados de los elementos químicos del yacimiento Maraví.

Tabla 2.2. Resultados de los promedios ponderados de los elementos químicos

Nº Pozo	CaO	MgO	SO ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	PPI
1	53.88	0.82	0.1	0.74	1.07	1.46	39.62
2	53.79	0.61	0.1	0.62	0.68	1.40	42.42
3	54.38	0.59	0.1	0.42	0.52	0.92	42.68
4	53.25	0.67	0.1	0.75	0.91	1.31	42.91
5	54.02	0.15	0.1	0.53	0.69	0.86	42.71
Promedio	53.86	0.57	0.1	0.61	0.77	1.19	42.06

2.3.3. Características físicas de la materia prima

Según los análisis realizados a las muestras del yacimiento Maraví, desde el punto de vista petrográfico se obtuvo que las rocas se destacan por ser calizas organógenas recrystalizadas, en parte pelitomórfica y microcristalina de textura masiva y estructura organógenas pelitomórfica. Está constituida por material llegando a alcanzar hasta 100 % de organismo y cemento y el resto óxido de hierro menor del 1 % y componente terrígeno menor del 1 %.

El yacimiento está compuesto por calizas organógenas recrystalizadas que de acuerdo a estos parámetros físico – mecánicos pueden ser utilizados como árido en la construcción.

2.3.4. Características tecnológicas de la materia prima

Las características tecnológicas que presentan este tipo de rocas como promedios de la materia prima del yacimiento Maraví, determinan el comportamiento de variables críticas como la resistencia a la compresión y la absorción, son las siguientes (Castillo 2015):

- Peso volumétrico – seco: 2,58 gr/cm³ promedio
- Peso volumétrico – saturado: 2,61 gr/cm³ promedio
- Absorción: 3,04 % promedio
- Peso específico real: 2.69 g/cm³ promedio
- Abrasión los Ángeles
- Resistencia a la compresión: 581,56 gr/cm² promedio
- Partículas planas alargadas
- Coeficiente trituración al cilindro diámetro 150 mm.

- Peso volumétrico en estado seco y saturado

Para el peso volumétrico en estado saturado dio que el valor mínimo y máximo fueron 2.30 y 2.59 g/cm³, siendo un rango de mayor frecuencia de 2.54 a 2.57 g/cm³. Existe otro rango donde se obtuvieron una frecuencia elevada y es de 2.51 g/cm³ hasta 2.54 g/cm³. En la tabla 2.3 aparecen los resultados del análisis de las muestras de superficie tomadas en el yacimiento Maraví.

Para el peso volumétrico seco se determinó que el intervalo de mayor valor frecuencia va desde 2.38 g/cm³ hasta 2.44 g/cm³. El valor mínimo obtenido fue de 2.11 g/cm³ y el máximo 2.54 g/cm³. Los valores de absorción se encuentran sus valores entre 1.67 y 6.88 %. Los resultados alcanzados en los ensayos de la resistencia a la compresión pueden considerarse como bueno teniendo en cuenta que para piedra triturada para la construcción se utilizan aquellas con resistencia a la compresión en estado saturado de 200 kg/cm² (tabla 2.3).

Tabla 2.3. Resultados del análisis de las muestras tomadas en los pozos de perforación del yacimiento Maraví

Muestras	Resistencia compresión saturada (kg/cm²)	Peso volumétrico seco g/cm³	Peso volumétrico saturado g/cm³
1	1016.9	2.59	2.62
2	992.8	2.58	2.61
3	310.8	2.60	2.63
4	292.6	2.52	2.57
5	294.7	2.56	2.60
Valores promedios	581.56	2.58	2.61

- **Peso específico real**

Para el peso específico los rangos de mayor frecuencia oscilaban entre 2.66 g/cm³ y de 2.69 g/cm³ siendo los valores medios 2.67 y 2.70 g/cm³ respectivamente para esos rangos. El valor mínimo del peso específico es 2.62 g/cm³ y el máximo 2.80 g/cm³.

- **Resistencia a la compresión en estado seco y saturado (NC 54-32: 85)**

La resistencia a la compresión en estado saturado arrojó que el intervalo de mayor frecuencia va desde 210 kg/cm² hasta 306 kg/cm² teniendo como valor medio 258 kg/cm². Además de este existen otros dos intervalos que presentan

frecuencias bastantes elevadas y van desde 402 a 498 kg/cm² y de 498 hasta 594 kg/cm².

Para los ensayos de resistencia a la compresión se tomaron 3 muestras por pozo, de la resistencia a la compresión en estado seco dio que el intervalo de mayor frecuencia está entre 525 a 625 kg/cm², obteniéndose como valor medio 575 kg/cm². Los valores mínimo y máximo en que están todos los valores son 225 kg/cm² y 945 kg/cm². Existen dos intervalos con la misma frecuencia y que se acercan al primero considerablemente los cuales están entre el rango de 225 a 325 kg/cm² y de 325 a 425 kg/cm². A las muestras compuestas se le realizaron ensayos a la fracción 20 - 40 mm.

- **Coeficiente de trituración al cilindro diámetro 150 mm (NC 190:2002)**

Este es el principal parámetro en la evaluación definitiva del yacimiento, por lo que el mismo ha sido objeto de un análisis detallado. El coeficiente de trituración en el cilindro de 0/150 mm se determinó en estado seco. Es de señalar que con estas muestras compuestas se caracterizó de manera general el pozo sin tener en cuenta que existen intervalos de rocas con diferentes propiedades físico – mecánicas (tabla 2.4).

- **Absorción (NC 187:2002)**

Según norma cubana la absorción del árido, generalmente no superara el 3% de la masa seca del mismo. Este parámetro tiene su mayor frecuencia entre los valores de 0.5 a 3 %, que representa el 63.6 %. Los valores mayores que 3 % alcanzan el 36 % de las muestras y como promedio 3.04 % en el yacimiento, encontrándose por encima de la exigencia técnica, mostrando que estas rocas poseen mayor agrietamiento y por tanto la absorción de agua se hace mayor. Para la elaboración de las mezclas de asfalto, en rocas trituradas la absorción máxima es de 3 %, de lo que se infiere que las calizas muestreadas poseen índice adecuado en su nivel de porosidad, cumpliendo con uno de los parámetros básicos para su uso como áridos para la construcción (tabla 2.4).

Tabla 2.4. Resultados del análisis de las muestras tomadas en los pozos de perforación del yacimiento Maraví

Yacimiento	Nº pozo	Peso específico g/cm ³	Peso volumétrico seco g/cm ³	Peso volumétrico saturado g/cm ³	Absorción
Maraví	1	2.71	2.38	2.47	3.98
	2	2.68	2.43	2.58	3.09
	3	2.69	2.35	2.44	2.93
	4	2.69	2.37	2.46	2.70
	5	2.69	2.38	2.46	2.50
	Promedio	2.69	2.38	2.48	3.04

- **Determinación de la abrasión “Los Ángeles” y de las Partículas planas y alargadas (NC 188:2002)**

Según requisitos de la norma citada, la que establece la evaluación tecnológica de la materia prima para el uso como árido en la construcción de los diferentes hormigones y mezclas asfálticas de mediana y baja resistencia, dentro de las actividades que podemos citar se encuentran:

- Para base o fundamentos de pavimentos donde la abrasión se admite hasta 35%
- Piedra triturada para la elaboración de las mezclas de asfalto de hormigón que dentro de sus especificaciones se encuentra que el porcentaje de abrasión a Los Ángeles debe estar en los parámetros permisibles entre 25 y 30 %
- Piedra triturada para otras construcciones que admite como abrasión máxima hasta un 40 %, marca mínima de 400, absorción máxima de 5 %, masa volumétrica no menor de 2.30 g/cm³, entre otras especificaciones de calidad que este yacimiento lo cumple.

En el proyecto de explotación del yacimiento objeto de estudio se recogen los resultados de las muestras de al menos cinco pozos de perforación los cuales se exponen en la tabla 2.5.

Tabla 2.5. Resultados de las muestras compuestas

Sector	Nº. pozo	Nº. muestras	Abrasión Los Ángeles	Partículas planas y alargadas	Coeficiente de trituración residuo
Maraví	1	I	27.4	18.8	20.04
	2	II	26.9	18.2	26.91
	3	III	27.6	19.8	20.97
	4	IV	24.8	19.1	29.10
	5	V	31.7	19.4	17.18

2.4. Composición granulométrica del material a procesar (NC 178:2002)

Martín-Morales, Sánchez-Roldán et al. 2013, investigaron que el término granulométrico se refiere a la distribución de los tamaños de las partículas del árido, donde la curva granulométrica refleja la distribución ponderada de los áridos elementales que componen un árido determinado (d/D).

Se asume que la densidad de los granos del árido permanece constante, a pesar del tamaño de las partículas la curva de distribución granulométrica del árido debe ajustarse al porcentaje que pasa por cada tamiz, (d) es el tamaño de cada tamiz; y (D) es el tamaño máximo del árido. La granulometría del árido depende fundamentalmente del sistema de trituración que se haya empleado en su proceso de producción (Rodríguez 2016).

2.5. Fundamentación teórica del método de cálculo para plantas procesadoras de áridos para la producción local

En la fundamentación del método de cálculo se arroja que:

1. Una planta procesadora de árido para la producción local será considerada como una secuencia de procesos de extracción, carga, transporte, clasificación, reducción de tamaño y beneficio de los áridos de construcción. Cada proceso

se identificará por una productividad, por las propiedades mineralógicas, físico-mecánicas y reológicas de los áridos procesados; a la entrada y a la salida.

2. Selección del método extracción, carga y transporte de los áridos de las canteras que suministran a las plantas procesadoras de áridos cubanos, a partir de los estudios geológicos locales.

3. El principio de selección de los esquemas tecnológicos de las plantas procesadoras de áridos locales cubanos sobre la base de las operaciones de trituración, clasificación, beneficio y su relación con los parámetros tecnológicos de los equipos e instalaciones que la conforman y la selección de los ciclos del proceso tecnológico -abierto, semiabierto y cerrados, según se requiera, de las operaciones de procesamiento tecnológico de los áridos.

4. El diseño –selección- de los equipos e instalación que conforman cada proceso se basa en los factores técnicos siguientes:

- a) Propiedades relacionadas con el proceso y transportación de la carga.
- b) Productividad de la máquina.
- c) Dirección, recorrido y forma del movimiento de la carga en el proceso.
- d) Características del proceso tecnológico y su relación con el producto que se elabora.

5. Elección del tipo de equipo según el esquema tecnológico identificado para la planta.

6. El establecimiento de la interrelación entre las propiedades físico-mecánicas y reológicas de los áridos de construcción que determinan los parámetros tecnológicos -geométricos, dinámicos y de capacidad- de los equipos, que conforman el esquema tecnológico, de las plantas procesadoras de áridos locales cubanos.

7. Se determina el resto de los parámetros tecnológicos de los equipos que conforman el esquema tecnológico de las plantas procesadoras de áridos locales cubanos.

9. Identificar las restricciones del proceso tecnológico para la preparación mecánica de los áridos de construcción, consideradas durante la determinación de los parámetros tecnológicos de los equipos que conforman la instalación.

2.5.1. Extensión del método

Siempre que se conozca la secuencia de los procesos de extracción, carga, transporte, clasificación, reducción de tamaño y beneficio de los áridos de construcción y que cada proceso se identifique por una productividad, las propiedades mineralógicas, físico-mecánicas y reológicas de los áridos locales a procesar, tanto a la entrada como a la salida, entonces se podrá aplicar el método propuesto.

2.6. Principio de selección de los esquemas tecnológicos

El esquema de preparación mecánica de áridos que necesitan las operaciones de trituración, cribado y molienda se crea a partir de las propiedades de la materia prima (en algunos territorios las piedras de potrero), sobre la base de los resultados de investigaciones de la concentrabilidad, las características tecnológicas de la maquinaria, que es posible aplicar, y de la experiencia de transformación de materiales con propiedades y composición análogas.

En el proyecto de la parte minera se determina la composición granulométrica del material a procesar, mientras que la composición granulométrica del árido, que llega a la primera etapa de beneficio, así como el propio procedimiento de ésta, se establecen en función de los ensayos de beneficiabilidad (Rázumov and Perov 1982).

Las propiedades físico-mecánicas de la materia prima determinan el procedimiento de fragmentación, cribado y molienda y los tipos de aparatos para realizar estas operaciones. Influyen también sobre la elección del esquema, las circunstancias generales para la realización del proyecto: condiciones climáticas de la región, procedimiento de explotación del yacimiento y de la alimentación del material a la planta y otros muchos.

Generalmente, de los esquemas tecnológicos que existen para las canteras de áridos, en la trituración gruesa se pueden utilizar trituradoras de mandíbulas y de conos invertidos, mientras que, para la trituración media, trituradoras de conos con vértices de igual dirección, y para la trituración fina; trituradoras de impacto o martillos.

En los esquemas de trituración se incluyen, por regla, las operaciones de cribado previo y de control, que se relacionan con aquella operación de trituración en que se alimenta el rechazo de la criba.

Las etapas de trituración tienen cuatro variedades:

- 1) operaciones de cribado previo, trituración y cribado de control.
- 2) Operaciones de cribado previo y trituración.
- 3) Operaciones de trituración y cribado de control.
- 4) Operaciones de trituración.

Durante la trituración sin cribado de control del material de dureza media en trituradores de conos para finos, la salida del producto excesivo alcanza el 60%, mientras que el grosor máximo convencional del producto triturado supera 4,5 a 5 veces la anchura del orificio de salida. Al tratar de materiales duros, la salida del producto excesivo aumenta hasta el 85%, para el orificio de salida.

Los esquemas de trituración (molienda) pueden contener las siguientes operaciones de clasificación. Clasificación previa; clasificación de control en un ciclo cerrado por completo de trituración; clasificación en un ciclo cerrado parcialmente de trituración; clasificación de verificación del desagüe; clasificación de verificación de arenas (Rázumov and Perov 1982).

A partir de la información recopilada sobre las características de la materia prima, el producto final, los aspectos tecnológicos de los mismos, y teniendo en cuenta la capacidad productiva que se pretende obtener de la planta, se selecciona y se calcula el esquema tecnológico, la capacidad instalada y el equipamiento de la instalación. Asimismo, se refieren parámetros necesarios

para cumplimentar las labores de régimen de trabajo, mano de obra, materiales y control del proceso tecnológico.

2.7. Capacidad anual de producción y vida útil de la cantera

El volumen anual de producción terminada en planta y exigida es de 60 000 m³/año teniendo en cuenta que el tiempo de vida útil de la cantera es 20 años, y se espera una recuperación en planta de 75%.

2.8. Capacidad anual de procesamiento tecnológico de la planta

La capacidad anual de procesamiento de la planta es de 25 m³/h – 57 600 m³/año, la cual está limitada por la cantidad de equipos con que se cuenta, su rendimiento es de un 85%. El material procedente de la cantera presenta una ley de 53.86% de CaO.

2.9. Esquema tecnológico

Sobre la base de los resultados de las investigaciones realizadas a la materia prima, las características tecnológicas de la maquinaria y, además, de la consulta de los datos de explotación de la cantera Maraví donde se explota caliza con propiedades y composición análogas a las que se investigan en este proyecto, se propone un esquema tecnológico que cuenta con operaciones de cribado y trituración (Anexo-1).

Etapas en que se divide el esquema tecnológico

Etapas 1: Clasificación y trituración primaria

Etapas 2: Trituración secundaria

Descripción de la Etapa 1: Clasificación y trituración primaria

Operación tecnológica 1: Alimentación, trituración y Clasificación de las materias primas.

El todo uno proveniente del frente de cantera es conducido y depositado en la tolva de alimentación (pos.1) por medios de camiones de volteo, de aquí el material pasa a un alimentador vibrante (pos.2) que permite separar las fracciones menores de 600-50 mm y de 50-0.015 mm, aquí ocurre la primera

clasificación, el material 50-0.015 mm cae al transportador (1) y lo lleva a la zaranda número uno, ocurriendo la segunda clasificación de 50-25 y de 25-0.015 mm, (estéril más pequeños y pedazos de rocas), los cuales son transportados por la cinta transportadora (5), a la zaranda vibratoria de tierra número uno (pos.6).

Este estéril a veces es comercializado como material de relleno, lo que contribuye a mejorar la eficiencia de la instalación, así como los indicadores económicos del centro. Las fracciones de 50-25 mm caen al transportador de retorno y lo deposita al transportador que lleva el material a la zaranda número 2 (pos 4).

Después de ocurrida la primera clasificación las fracciones 600-50 mm caen al triturador de mandíbula y son reducida de 45-0.015 estas caen al transportador que lo conduce a la zaranda número 2 (pos 4), donde ocurre la tercera clasificación y salen las fracciones de 45-20, 20-10, de 10-5.0, y 5-0.015 mm. Las tres últimas fracciones son depositadas a sus respectivos transportadores y son vertidas al piso para su comercialización.

El rajón libre de estéril, procedente del alimentador vibratorio 2, es alimentado a la trituradora de cono (5) el cual machaca el rajón y lo envía mediante el transportador a zaranda número 2, segunda clasificación.

Descripción de la Etapa 2: Clasificación y Trituración secundaria

Operación tecnológica 2: Clasificación del material para la obtención de las fracciones 20-10 mm, 10-5 mm y 5-0.015 mm (NC. 759:2010).

El material procedente de la Etapa 1 que es depositado a la zaranda número 2 pos.4 la fracciones 45-20, es depositada por medio de una canal al triturador de cono (segunda trituración) es reducida las fracciones 20-0.015 y es depositada al transportador de retorno de la segunda trituración y el material es vertido al transportador que lleva el material a la zaranda número 2 pos.4, reincorporándolo a la tercera clasificación. Esta posee dos secciones con 3 tamizes (20, 10 y 5 mm), en la sección superior posee el tamiz de 20 y la sección inferior está dividida por el tamiz de 5 y el intermedio de 10 mm.

La fracción 5 mm es descargado al piso tecnológico mediante el transportador (8) como polvo de piedra, en este punto de descarga se encuentra ubicado un tubo vertical, el cual sirve para evitar el vuelo de las partículas más finas; la fracción 5-10 mm es descargada al piso tecnológico mediante el transportador (9), la fracción 10-20 mm es descargada al piso tecnológico mediante el transportador (10).

2.10. Presa de agua y cola

El proceso tecnológico utilizado en la planta para la obtención de los productos finales no requiere de fuentes de agua, solo las necesarias para el consumo del personal o utilización en cocinas, sanitarios, limpieza de equipos y medidas de seguridad contra incendios, debido a que este proceso se realiza por vía seca por lo que la instalación no necesita el diseño de presas de cola y agua.

2.11. Régimen de trabajo y cálculo de la capacidad instalada

2.11.1. Régimen de trabajo

El régimen de trabajo de la planta (tabla 2.6) está en correspondencia con el de la cantera, semana laboral de 6 días y un turno diario de 8 horas. El tiempo neto de funcionamiento de la maquinaria es de 288 días al año, debido a que no se trabajan los domingos y se alternan los sábados.

Tabla 2.6 Régimen de trabajo de la planta

Detalle	Cantidad
Días hábiles en el año (DHA)	288 días
Horas laborables por turnos (HLT)	8 h
Utilización del tiempo (UT)	85%
Horas efectivas por turnos (HET)	7 h
Horas efectivas por día (HED)	7 h
Horas efectivas anuales (HEA)	2016 h

2.12. Cálculo de la capacidad instalada

2.12.1. Cálculo del esquema de trituración

Se pretende calcular el esquema de fragmentación para la planta de preparación de áridos cuya productividad es de 155 520 t/año. El yacimiento se extrae a cielo abierto y se caracteriza por tener dureza media, tiene una densidad de 2,70 t/m³, la humedad es de hasta 3 %.

Para realizar el cálculo y selección del equipamiento de preparación mecánica, se utiliza la metodología expuesta en (Rázumov and Perov 1982), y se elige el esquema de trituración tipo BA (figura 2.2) que reduce el mineral del D_{máx}= 600 mm hasta un valor de diámetro mínimo con un d_{máx}=20 mm.

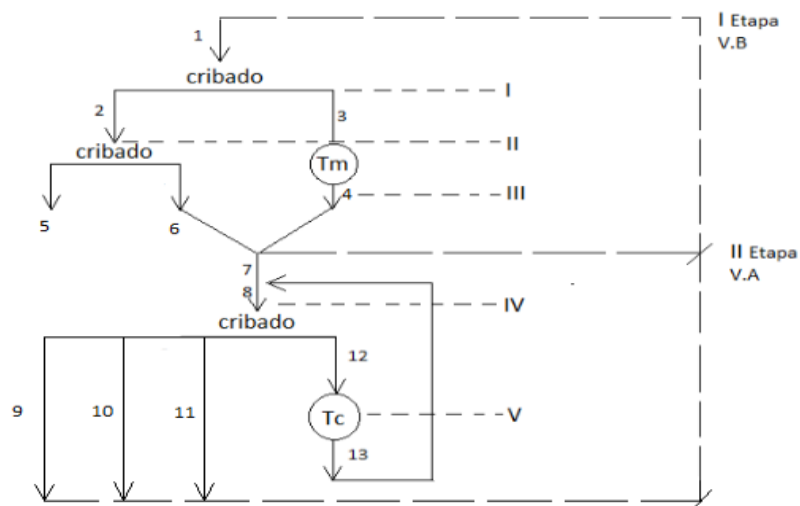


Figura 2.2. Esquema de trituración tipo BA. (Noe, 2019).

- Productividad de la sección de trituración

Para el cálculo de la productividad al año, se toma el régimen de trabajo según el de la cantera: semana laboral de 6 días, un turno al día, el tiempo neto de funcionamiento de la maquinaria, 288 días al año.

$$Q_{qgh} = \frac{Q_{fa}}{N_a \cdot N_t \cdot N_h} = \frac{155520}{288 \cdot 1 \cdot 8} = 74.250 \text{ t/h} \quad (2.1)$$

$Q_{q.g.h.}$: productividad por hora de la maquinaria; (t/h)

$Q_{f.a.}$: productividad anual de la fábrica; (t/a)

N_a : número de días laborables al año

N_t : número de turnos en el día

N_h : número de horas laborables en un día

- Grado total de trituración

$$S_{gen} = \frac{D_{m\acute{a}x}}{d_{m\acute{a}x}} = \frac{600mm}{20\text{ mm}} = 30\text{ mm} \quad (2.2)$$

donde:

$D_{m\acute{a}x}$ → Diámetro máximo en la alimentación.

$d_{m\acute{a}x}$ → Diámetro máximo en el producto final.

- Grado de trituración en etapas aisladas

$$S = s_1 \cdot s_2 \quad (2.3)$$

$$S = s_1 = s_2$$

$$S = S_m^2$$

$$S_m = \sqrt[2]{S} = \sqrt[2]{30} = 5.48\text{ mm}$$

S_m : grado medio de trituración en una etapa.

El grado de trituración en la primera etapa cuando se trabaja en ciclo abierto debe ser algo menor que S_m , mientras que, en la segunda etapa, cuando se trabaja en ciclo cerrado, debe ser algo mayor que S_m (Rázumov and Perov 1982). Por este motivo, para la primera etapa de trituración se toma, aproximadamente: $s_1 = 4.6\text{ mm}$

$$\text{Entonces, para la segunda } s_2 = \frac{S}{s_1} = \frac{30}{4.6} = 6.5\text{ mm} \quad (2.4)$$

Seguidamente se calcula el grosor máximo convencional de los productos triturados en cada operación (D_7 , D_9).

$$D_7 = \frac{D_{m\acute{a}x}}{s_1} = \frac{600}{4.6} = 130.43 \text{ mm} \quad (2.5)$$

$$D_9 = \frac{D_{m\acute{a}x}}{s_1 s_2} = \frac{600}{4.2 \cdot 6.5} = 20 \text{ mm}$$

- Ancho de las bocas de salida de las trituradoras de la primera etapa de trituración

$$i_T = \frac{D_n}{z_n} \quad (2.6)$$

donde:

z_n – Grosor relativo adimensional de los productos triturados. Determinado a partir de la característica típica del grosor del material para la trituración debida en la primera etapa, en trituradoras de mandíbulas $z_{II} = 1,5$.

- Primera etapa de trituración:

El valor de z_I se asume un triturador de mandíbulas para trituración media (Rázumov and Perov 1982).

$$i_{II} = \frac{D_5}{z_I} = \frac{143.64 \text{ mm}}{1,5} = 87 \text{ mm tomamos el valor de } i_{II} = 80 \text{ y luego ajustamos el } D_7$$

$$D_7 = i_{II} \cdot z_{II} = 120 \text{ mm} \quad (2.7)$$

- Segunda etapa de trituración:

El valor de z_{II} se asume un triturador de conos para trituración fina (Rázumov and Perov 1982).

$$i_{IV} = \frac{D_9}{z_{II}} = \frac{20 \text{ mm}}{2} = 10 \text{ mm} \quad (2.8)$$

- Dimensiones del orificio del tamiz de las cribas y la eficacia del cribado para la primera etapa de trituración

Para el cribado previo la dimensión de los orificios del tamiz se toma en los límites del ancho de la boca de salida de la trituradora al grosor máximo relativo convencional del producto quebrantado en dicha trituradora ($i-z_i$).

Si la quebrantadora resulta cargada, la dimensión de los orificios se toma igual o mayor que el ancho de las bocas de salida de las trituradoras para cada etapa.

Según los datos prácticos la correlación entre los orificios de las cribas y la anchura de la boca de salida de las trituradoras es: para trituración gruesa 1; para trituración media 1,5-1,8 y fina 2-3 (Rázumov and Perov 1982).

Para el cribado previo de gruesos en cribas vibratorias, el valor de la eficacia del cribado (E^{-a}) se toma en los límites desde 60-70 %.

Para el esquema seleccionado, se toma:

$$a_I = i_{II} = 130.43mm \quad (2.9)$$

$$E_I^{-a} = 70\%$$

A fin de reducir en la segunda etapa la carga circulante, se desea mantener la boca mínima de salida de la trituradora para el tipo de dimensiones dado. Para las trituradoras finas la correspondencia entre las dimensiones de los orificios de las cribas y el ancho de las bocas de salida de acuerdo datos prácticos debe ser aproximadamente de 2-3 unidades (Rázumov and Perov 1982).

Para el cribado de finos en cribas vibratorias, el valor de la E^{-a} se toma en los límites de 80-85 %.

$$a_{II} = 20 mm \quad (2.10)$$

$$E_{II}^{-a} = 85\%$$

- Se comprueba la correspondencia del esquema de trituración y los grados de trituración con la maquinaria que se fabrica.

Para determinar los valores aproximados de las masas de los productos 3 y 12, es necesario fijar las salidas aproximadas de los productos que ingresan a las operaciones de trituración en función de la dureza de las rocas a quebrantar (Rázumov and Perov 1982). Utilizando la fórmula $Q_n = Q_1 \cdot \gamma_n$ se tiene que:

$$\gamma_3 = 75\% \quad (2.11)$$

$$\gamma_{12} = 120\%$$

- Determinación la masa del producto

$$Q_3 = Q_1 \gamma_3 = 74.250 * 0,75 = 55.69 \text{ t/h} = 20.6 \text{ m}^3/\text{h} \quad (2.12)$$

$$Q_7 = Q_1 \gamma_{12} = 74.250 * 1.2 = 89.10 \frac{\text{t}}{\text{h}} = 33 \text{ m}^3/\text{h}$$

2.13. Elección de la trituradora

En la tabla 2.7 se muestran los requisitos que deben satisfacer las trituradoras, mientras que en la tabla 2.8 se ofrecen las características tecnológicas de las trituradoras elegidas de acuerdo a las características del material y a las necesidades de producción.

Tabla 2.7 Requisitos que debe satisfacer la trituradora

Índices	Etapa de fragmentación	
	Primera	Segunda
Grosor de los trozos mayores en la alimentación, mm	600	120
Anchura de la boca de salida, mm	80	10
Rendimiento requerido, t/h	56	89.10
m ³ /h	20.6	33.00

Tabla 2.8 Características tecnológicas de las trituradoras elegidas

Triturador primario modelo PE600×900		Triturador secundario CSB160-1295	
I etapa		II etapa	
Parámetros	Valores	Parámetros	Valores
Anchura de la boca de entrada mm	900	Anchura de la boca de entrada mm	137
Límite de regulación de salida mm	160	Límite de regulación de salida mm	13
Rendimiento t/h	78	Rendimiento t/h	109
Rendimiento m ³ /h	29	Rendimiento m ³ /h	40
Potencia instalada	75 kW	Potencia instalada	185 kW
Velocidad giratoria (r/min)	250	Velocidad giratoria (r/min)	48

El rendimiento de la trituradora de mandíbulas para materiales medios con una boca de salida se ha tomado de 160 mm. El rendimiento de la trituradora para finos es el producto del coeficiente de grosor para un ciclo cerrado, k_c con valores de 1,3 a 1,4 (E., A et al. 1980). Y el rendimiento de la quebrantadora en un ciclo abierto ($Q=109$ t/h).

$$Q_{cc} = k_c \cdot Q \quad (2.13)$$

$$Q_{cc} = 1,3 \cdot 109$$

$$Q_{cc} = 141.7 \text{ t/h}$$

- Coeficientes de carga de las trituradoras

Se determinan los coeficientes de carga para comprobar si las reservas de rendimiento de las trituradoras están en los límites requeridos. Para calcularlos se halla la relación entre el rendimiento requerido y el rendimiento según las características tecnológicas de las trituradoras y su productividad posible con el ancho de la boca de salida prevista en el proyecto.

$$k_1 = \frac{20.6}{29} = 0,71 \quad (2.14)$$

$$k_2 = \frac{33}{40} = 0,82$$

Una vez calculados estos coeficientes se tiene que en la primera etapa es 0,71 y en la segunda etapa es 0,82, como se puede notar son valores que están dentro del rango admisible, o sea que las trituradoras no se encuentran muy cargadas y tiene una buena reserva de rendimiento. por lo que el esquema propuesto, hasta ahora no presenta dificultades para utilizar las trituradoras estándar, por tanto, no hay razones para variar los grados de trituración iniciales; no obstante, se hace necesario realizar el cálculo precisado del esquema de trituración.

2.14. Cálculos referentes al proceso de cribado

Previamente se construyen las características de grosor para β_I^{+d} , b_{III}^{+d} y b_V^{+d} .

La característica de la materia prima inicial es de grosor medio, con el tamaño prefijado del mayor trozo igual a 600 mm. De acuerdo con el gráfico, se establece que al trozo máximo corresponden 1,5 unidades trazadas por el eje de abscisas y, por lo tanto, a la unidad corresponderá la dimensión absoluta $600/1,5 = 400$ mm. De modo análogo, ha sido también recalculada la escala de grosores para el producto de la trituradora con boca de salida 87 mm. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.9.

Se deben definir los valores de las características de tamaño de la materia prima a la salida en las diferentes etapas de trituración. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.10, mientras que las características de grosor del material inicial y de la descarga de la trituradora de mandíbula se muestran en la figura 2.3 y 2.4 respectivamente.

Tabla 2.9 Reducción de la característica típica a fin de obtener la característica de la materia prima inicial y del producto de una trituradora de mandíbula

Según la característica tipo		Materia prima inicial	Producto de la trituradora mandíbula
Grosor de las clases en las bandas del ancho de la boca de salida de la trituradora	Salida sumaria de la clase según el más, %	Grosor de la clase, mm	Grosor de la clase, mm
0	100	0	0
0,2	87	80.0	9.0
0,4	72	160.0	18.0
0,8	40	320.0	36.0
1	27	400.0	54.0
1,2	16	480	72.0
1,5	5	600	90.0

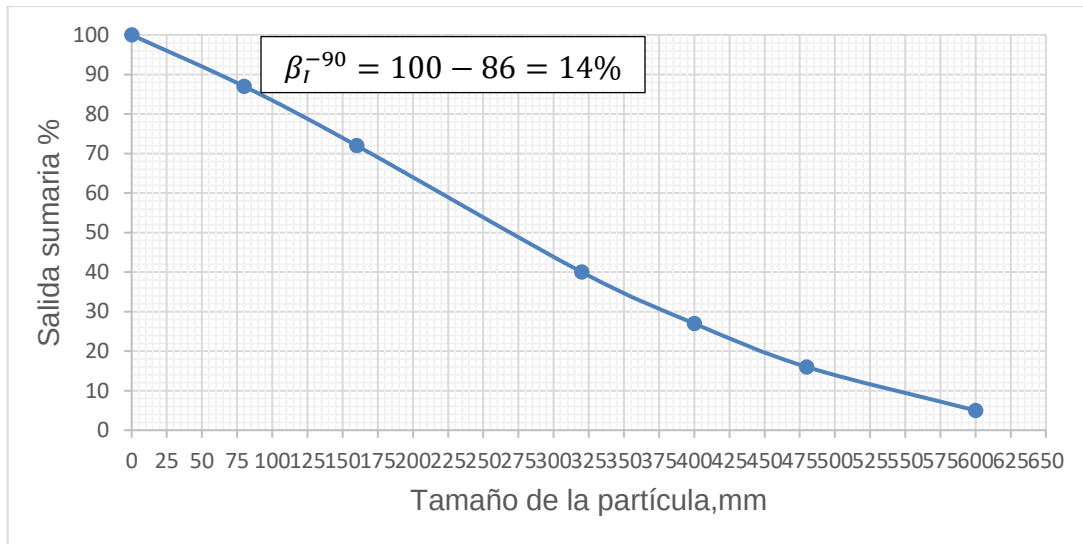


Figura 2.3. Características de tamaño de la materia prima inicial.

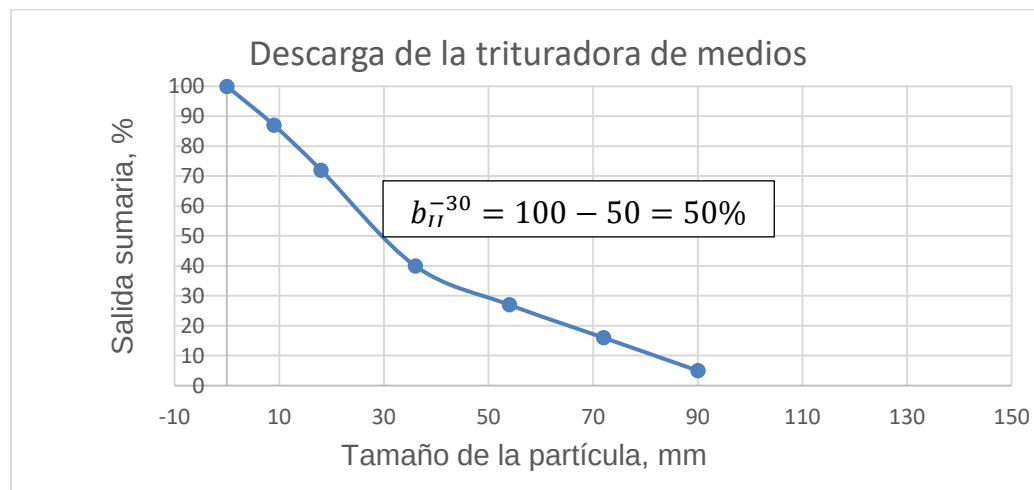


Figura 2.4. Características de tamaño de la descarga de la trituradora de mandíbula.

- Cálculo de la primera etapa de trituración

En la operación de la criba I se tamiza la clase -600-0 mm, en tanto en la operación III, la clase 20-0 mm. La dimensión de la boca de salida de la trituradora de la primera etapa de trituración $i_{IV} = 90$ mm.

Además, para la elección de las cribas es preciso conocer el contenido, en la alimentación de éstas, de las clases con granos de tamaño menor que la

dimensión de los orificios de los tamices y menor que la mitad de la dimensión de dichos orificios, es decir, hay que definir los valores β_1^{-90} , β_5^{-20} , y β_5^{-10} . Así, pues, para el producto 7 hay que determinar los valores, en el contenido β_7^{-20} y β_7^{-10} .

- Determinación de los contenidos en los productos

Determinación de Q_2, Q_3, Q_5, Q_6 y Q_7 en los productos (2.15)

$$Q_2 = Q_1 \beta_1^{-a} E_I^{-a} = Q_1 \beta_1^{-90} E_I^{-90} = 74,250 * 0,14 * 0,70 = 7.2765 \text{ t/h}$$

$$Q_3 = Q_1 - Q_2 = 74.250 - 7.2765 = 66.97 \text{ t/h}$$

$$\text{o bien } \frac{66.9735}{2.7} = 24.805 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_3 = Q_4$$

$$Q_2 = Q_5 + Q_6$$

$$Q_5 = Q_2 \beta_2^{-a} E_{II}^{-a} = Q_2 \beta_2^{-25} E_{II}^{-25} = 7.2765 * 0.3 * 0,85 = 1.86 \text{ t/h}$$

$$Q_6 = Q_2 - Q_5 = 7.2765 - 1.86 = 5.4165 \text{ t/h}$$

$$Q_7 = Q_4 + Q_6 = 66.9735 + 5.4165 = 72.39 \frac{\text{t}}{\text{h}}$$

- Cálculo de la segunda etapa de trituración

En la operación de la criba II se determina el contenido de la clase -90 mm en el producto 7, en tanto para la segunda etapa de trituración, hay que conocer el contenido de ese mismo producto de las clases -20 mm, -10 mm y 5 mm

Para la construcción de las características típicas de la materia prima de tenacidad media para la trituradora КМД1750 con boca de salida de 10 mm se toma un trozo máximo de 31 mm.

En tabla 2.10 se muestra la escala de grosores para el producto de la trituradora, y las características de tamaño de la descarga de dicha trituradora se representan en la figura 2.5.

Tabla 2.10. Escala de grosores para el producto de la trituradora de la segunda etapa de trituración

Según la característica tipo		Producto de la KMД1750, con i= 10
Grosor de las clases en las bandas de anchura de la boca de salida de la trituradora	Salida sumaria de la clase según el más, %	Grosor de la clase, mm (d95=31 mm)
0	100	0
0.1	80	3.1
0.2	66	6.2
0.4	40	12.4
0.6	22	18.6
0.8	11	24.8
1	5	31

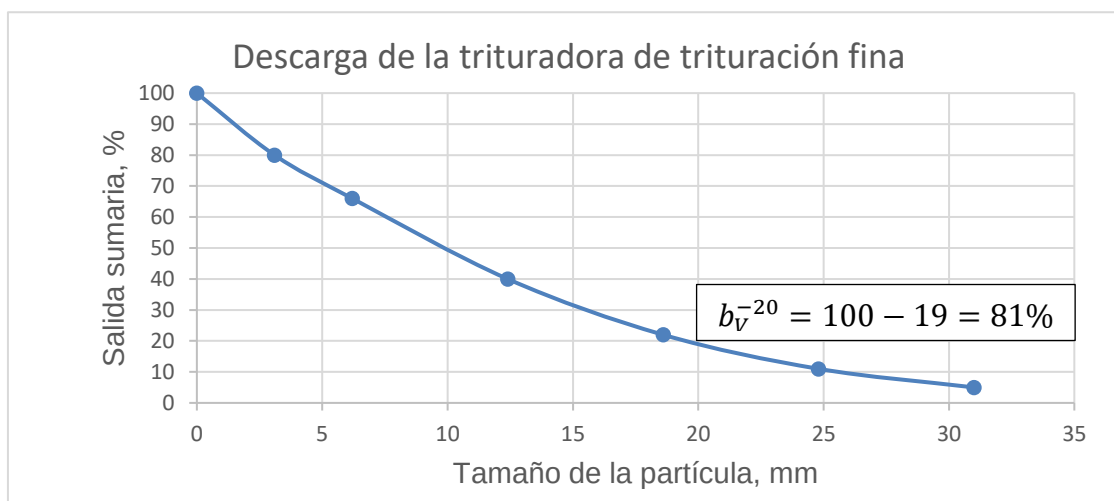


Figura 2.5. Características de tamaño de la descarga de la trituradora de la segunda etapa.

- Determinación de los contenidos en los productos (2.16)

$$\beta_7^{-d} = \beta_I^{-d} + \beta_I^i b_{IV}^{-d}$$

$$\beta_7^{-20} = \beta_5^{-20} + \beta_6^{+90} b_{IV}^{-10} = 0.81 + 0.14 * 0.50 = 0.88 = 88\%$$

$$\beta_5^{-20} = 100 - \beta_5^{+20} = 100 - 19 = 81\% = 0.81$$

$$\beta_7^{+d} = \beta_7^{+20} = 1 - \beta_7^{-20} = 1 - 0.81 = 0.19$$

$$b_{IV}^{-10} = 100 - b_{IV}^{+10} = 100 - 50 = 50\% = 0.50$$

Los valores de β_5^{+20} y β_6^{+90} se han tomado en los gráficos aducidos en las figuras 2.3 y 2.4. Y el valor de b_{IV}^{+20} se ha tomado en el gráfico aducido en la figura 2.5

Luego planteamos la ecuación de Q_8 , Q_{10} , Q_{11} sustituimos los términos.

$$Q_8 = Q_7 \left(\frac{1}{E_{IV}^{-a}} + \frac{\beta_7^{+a}}{b_V^{-a}} \right) = Q_7 \left(\frac{1}{E_{IV}^{-20}} + \frac{\beta_7^{+20}}{b_V^{-20}} \right) = 72.39 * \left(\frac{1}{0.85} + \frac{0.19}{0.81} \right) = 102.14 \text{ t/h}$$

$$Q_9 = Q_1 - Q_5 = 74,250 - 1.86 = 72.39 \text{ t/h}$$

$$Q_{10} = Q_{11} = Q_8 - Q_7 = 102.14 - 72.39 = 29.75 \text{ t/h o bien } \frac{29.75}{2.7} = 11 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Definición de } \beta_8^{-20} \text{ y } \beta_8^{-5} \quad (2.17)$$

$$\beta_8^{-20} = \frac{1}{\gamma_8 * E_V^{-a}} = \frac{1}{1.37 * 0.85} = 0.858 = 85.8\%$$

$$\beta_8^{-5} = \frac{1}{\gamma_8 * E_V^{-a}} = 0.5 * 0.858 = 0.429 = 42.9\% \quad (2.18)$$

$$\text{Donde: } \gamma_8 = \frac{Q_8}{Q_1} = \frac{102.14}{74.250} = 1.37$$

$$Q_{12} = Q_9 * \beta^{-10} * E^{-10} = 72.39 * 0.50 * 0.85 = 30.76 \text{ t/h} \quad (2.19)$$

$$Q_{13} = Q_9 - Q_{12} = 72.39 - 30.76 = 41.63 \text{ t/h}$$

$$Q_{14} = Q_{12} * \beta^{-5} * E^{-5} = 30.76 * 0.30 * 0.85 = 7.84 \text{ t/h}$$

$$Q_{15} = Q_{12} - Q_{14} = 30.76 - 7.84 = 22.92 \text{ t/h}$$

$$Q_1 = Q_5 + Q_{13} + Q_{14} + Q_{15} = 74.25 \text{ t/h}$$

Los valores de β_{12}^{+10} y β_{14}^{+5} se han tomado en el gráfico aducido en la figura 2.5

Definición de los coeficientes de carga de las trituradoras de acuerdo con los resultados de cálculo:

$$k_1 = \frac{Q_3}{Q_{trit}} = \frac{24.805}{29} = 0,85 \quad (2.20)$$

$$k_2 = \frac{Q_{10}}{Q_{trit}} = \frac{29,75}{40} = 0,74$$

Al compararlos con los valores anteriormente calculados se puede apreciar similitud entre los valores pues estos siguen estando en el rango aceptable para la instalación de las trituradoras. El coeficiente de carga de la trituradora de mandíbula muestra que esta posee algo de reserva con respecto a la masa que se calcula, esta reserva puede garantizar el aumento de la productividad de la planta, la misma puede asimilar hasta un 30 % más de la capacidad instalada.

2.14. Balance general de masa de la planta

En la tabla 2.11, se muestra el balance de masa de la planta, que permite comprobar la correspondencia entre el esquema de la planta y los valores obtenidos que se presenta en la figura 2.6 con las denominaciones de cada fracción como producto final.

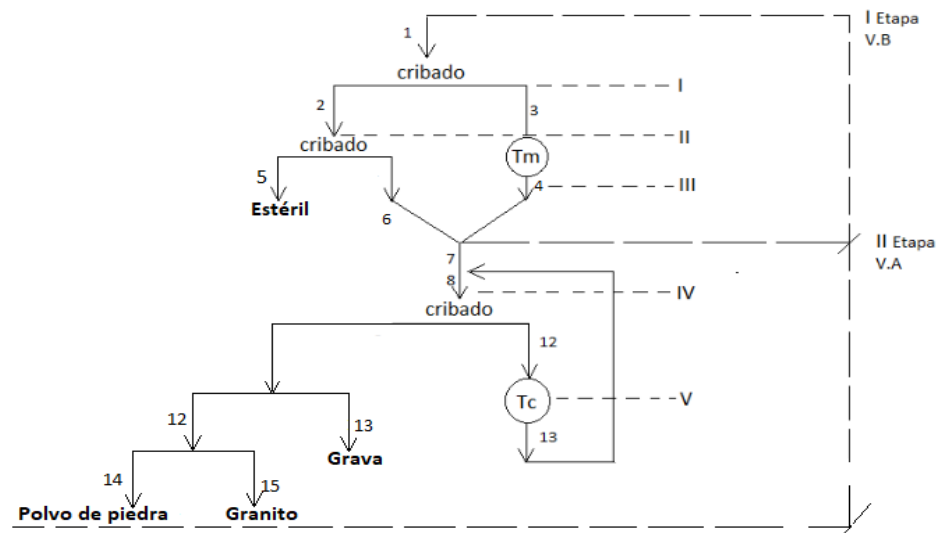


Figura 2.6. Cantidad de fracciones por productos finales (Noé, 2019).

Tabla 2.11. Balance de masa de la planta

Entrada	t/h	Salida	t/h
Q_1	74.25	Q_5	1.86
		Q_{13}	41.63
		Q_{14}	7.84
		Q_{15}	22.92
Total	74.25	Total	74.25

2.15. Selección de la criba

Los procedimientos para determinar la superficie de cribado necesaria en una clasificación concreta, son absolutamente empíricos basados en experiencias de los fabricantes de cribas, por lo que deberán ser tanto más acertados cuanto mayor experiencia tenga dicho fabricante (Bouso 1999).

Teniendo en cuenta que hay múltiples metodologías de cálculo planteada por varios autores, que son similares y las experiencias acumulada por parte de las empresas que procesa este tipo de material, la capacidad que se necesita para procesar este tipo de árido y las dimensiones de los tamizes para cada criba. Por tanto, para la elección de las mismas en este proyecto, se consultaron catálogos donde el parámetro que determinó la selección fue la capacidad alimentada a estas, determinada anteriormente en el cálculo del esquema de trituración; en la tabla 2.12 se muestran las capacidades para cada operación.

Tabla 2.12 Capacidad alimentada a las cribas

Operaciones de cribado	Capacidad alimentada (t/h)
I (Primera Etapa)	74.250
II (Primera Etapa)	7.2765
IV (Segunda Etapa)	102.14

En las siguientes tablas se muestran las características tecnológicas de las cribas elegidas para cada etapa.

Tabla 2.13 Características tecnológicas de las cribas de la primera etapa

Primera etapa (Operación I)		Primera etapa (Operación II)	
Precribador vibrante modelo AVC		Vaglio vibrante inclinado W 300/2	
Parámetros	Valores	Parámetros	Valores
Ancho útil de alimentación	1070 mm	Dimensión tamiz de cribado	3000x1250 mm
Ancho total plan de alimentación	4960 mm	Caudal máximo	138 t/h
Potencia instalada	22 kW	Tamaño de alimentación máximo	210 mm
Caudal máximo de alimentación	400 t/h	Potencia instalada	7,5 kW
Peso	6600 kg	Peso	3075 kg

Tabla 2.14 Características tecnológicas de la criba de la segunda etapa

Segunda etapa (Operación IV)	
Vaglio vibrante inclinado W 300/3	
Parámetros	Valores
Dimensión tamiz de cribado	5000x1800 mm
Caudal máximo	300 t/h
Tamaño de alimentación máximo	2500 mm
Potencia instalada	22 kW
Peso	9100 kg

2.16. Fuerza de trabajo

El proyecto ofrece beneficios para los pobladores de la región, por lo que la mano de obra es local; la planta contará con el personal administrativo y de seguridad correspondiente y estará compuesta por una brigada, lo que completa una plantilla de personal de veinte seis (26) trabajadores. En la tabla 2.15 se muestra la composición de la fuerza de trabajo de la planta productora de árido Maraví.

Tabla 2.15 Fuerza de trabajo de la planta

Planta productora de áridos Maraví	Cantidad	Categoría ocupacional	Nivel de preparación
Jefe de Planta	1	D	M/S
Especialista en Explotación de Yacimientos	1	T	N/S
Técnico en Gestión de la Calidad	1	T	M/S
Técnico de Seguridad y Protección	8	S	M/S
Dependiente de Almacén	1	S	M/S
Operador B de Molino	1	O	MEDIO
Operador A de Cargador Frontal	1	O	MEDIO
Chofer D	1	O	MEDIO
Chofer B	3	O	MEDIO
Operador "A" de Grúa Izaje y Movimiento de Tierra	1	O	MEDIO
Operador A Topador Frontal	1	O	MEDIO
Mecánico B de Equipos Industriales de la Construcción	1	O	MEDIO
Mecánico A Automotor	1	O	MEDIO
Mecánico A Automotor	1	O	MEDIO
Engrasador "A"	1	O	MEDIO
Ayudante Integral de la Industria de Materiales de la Construcción	3	O	MEDIO
Total	26		

2.17. Caracterización de los equipos que conforman el esquema tecnológico de la planta procesadora de áridos

Como en todas las plantas, la maquinaria o equipos a utilizar en la producción de áridos, lo más importante es la instalación de trituración y selección, además de los equipos y camiones que se utilizarán para el acopio, alimentación de la planta y traslado de la materia prima.

Luego, se describen algunas de las características de estos equipos:

- Cintas transportadoras modelo B800

La planta se proyecta con las cintas transportadoras de iguales anchos y diferente longitud (tabla 2.16), así como la estructura y el funcionamiento.

La transportación del material se efectúa por la rama superior que es alimentada mediante una tolva que suministra el material continuamente (anexo 2). La descarga se realiza por el extremo opuesto o por partes intermedias del perfil mediante dispositivos especiales de descarga. (Spivakoski 1982).

Tabla 2.16 Características tecnológicas de las cintas transportadoras B800

Modelo	Ancho de banda (mm)	Inclinación (°)	Velocidad de la banda (m/s)	Capacidad de transporte t/h	Clasificación por tamaño de alim. Max (mm)	Potencia (l≤30m) (kw)
B800	800	0-17	1.37	300	225	5.5
B800	800	0-17	1.37	300	225	5.5
B800	800	0-17	1.37	300	225	5.5
B800	800	0-17	1.37	300	225	5.5
B800	800	0-17	1.37	300	225	5.5
B800	800	0-17	1.37	300	225	5.5

- Precribador vibratorio modelo AVC

El precrivador vibratorio AVC (Tabla 2.17); Realiza una operación combinada de alimentación y selección. Son máquinas de vibración combinada con suspensión sobre muelles helicoidales y se constituyen por una carcasa, generador de vibraciones y muelles de suspensión (anexo 3).

Tabla 2.17 Características tecnológicas del precribador vibratorio modelo AVC

Parámetros	Valores
Ancho útil de alimentación	1070 mm
Ancho total plan de alimentación	4960 mm
Potencia instalada	22 kW
Caudal máximo de alimentación	400 t/h
Peso	6600 kg

- Triturador primario modelo PE600×900

Es un triturador primario (Tabla 2.18); que se utiliza para la quebrantar cualquier tipo de material de cantera, sean duros, medios y abrasivo; son máquinas particularmente robustas, fiables y seguras, está conformado por una carcasa, cámara de trituración y árbol excéntrico con mandíbula móvil (anexo 4).

Tabla 2.18 Características tecnológicas del triturador primario BP 900x600

Parámetros	Valores
Dimensiones de la boca	600x900 mm
Ajuste mínimo	45 mm
Ajuste máximo	160 mm
Producción (reg. 160)	78 t/h
Potencia instalada	75 kW

- Triturador secundario CSB160-1295

El triturador modelo CSB 160-1295 (tabla 2.19); efectúa el trabajo por el motor a través de correas trapezoidales, poleas, ejes de transmisión, presionando el eje del cono, haciendo que la superficie de la pared de trituración pase cerca, de manera que el anillo de material compuesto a partir de un cono fijo y el cono dinámico producen la cavidad de trituración constante bajo la presión, el material es triturado al tamaño de partícula requerida, saliendo por la parte inferior de la descarga. (anexo 5).

Tabla 2.19 Características tecnológicas triturador CSB160x1295

Parámetros	Valores
Granulometría máxima admisible para la alimentación	100 mm
Producción máxima	109 t/h
Potencia instalada	185 kW
Peso de la máquina	15000 kg
Cantidad de revoluciones	485 R/min

- Vaglio vibrante inclinado W 300/2 y W 500/3

Vaglio vibrante inclinado W 300/2 y W 500/3 (tabla 2.20): las cribas vibratorias serie W, son de tipo oscilatorio y se vinculan mediante suspensión a resortes helicoidales. Su principal característica la amplitud de la vibración circular de la carcasa portadora de los planos de selección, es predeterminada e invariable, en forma independiente de la carga del material y permite la obtención de altas producciones con selecciones de buena calidad (anexo 6).

Tabla 2.20 Características tecnológicas del Vaglio vibrante inclinado W 300/2 y W 500/3

Parámetros	WS 300/2	WS 500/3
	I etapa	II etapa
Dimensión tamiz de cribado	3000x1250 mm	5000x1800 mm
Caudal máximo	138 t/h	300 t/h
Tamaño de alimentación máximo	210 mm	2500 mm
Potencia instalada	7,5 kW	22 kW
Peso	3075 kg	9100 kg

- Camiones marca SUPERKAMAZ modelo Kamaz 6520 GVW

El Kamaz 6520 GVW (Tabla 2.21); es adecuado para uso en minería, canteras, trabajos pesados de transporte de bloques de granito, caliza, transporte de minerales, los proyectos de riego y los proyectos de infraestructura que requieren trabajo continuo y duros ciclos (anexo 7).

Tabla 2.21. Características tecnológicas del camión marca SUPERKAMAZ modelo 6520 GVW

Parámetros	Unidad de medida	Valor
Capacidad de carga	kg	20000
Tipo de combustible	Diésel	-
Consumo de combustible	L/h	10
Pendiente máxima superable	%	25
Ancho	mm	2500
Longitud	mm	7800
Radio de giro	M	8.5
Disponibilidad mecánica	%	90
Velocidad del camión cargado	km/h	30
Velocidad del camión vacío	km/h	20
Dirección de volteo	----	atrás
Potencia nominal,	kwt (HP)	235

- Buldócer frontal marca XCMG modelo TY – 230: El buldócer XCMG modelo TY - 230 (Tabla 2.22): Se emplean en excavaciones, vertido y extendido de materiales, desmontes roturación de terrenos y otros trabajos análogos, como movimiento de tierra (anexo 8).

Tabla 2.22 Características tecnológicas del buldócer frontal marca

Parámetros	Unidad de medida	Valor
Largo	m	7
Alto	m	3,20
Potencia	HP	220
Consumo de combustible	L/h	22
Radio de giro exterior	m	3,3
Tipo de combustible	-	Diesel
Velocidad de transporte	m/min	190
Disponibilidad mecánica	%	70

2.18. Materiales

Los equipos tecnológicos con los que se cuenta para el procesamiento de áridos de la planta Maraví se muestran en la siguiente tabla 2.23.

Tabla 2.23 Materiales que se utilizarán en la planta de procesamiento

Materiales	Unidad de medida	Consumo
Grasas lubricantes	kg/m ³	3,21
Aceros en barras	t/m ³	1,142
Gases industriales (Oxígeno)	m ³ /m ³	1,479
Acetileno	m ³ /m ³	0,094
Electrodos para soldar 6013/7018	kg/m ³	2,742
Grampas flexco	u/m ³	1,274
Cadena de transmisión	m/m ³	0,150
Correas de transmisión	u/m ³	0,365
Cintas transportadoras	m/m ³	2,82
Paños de zaranda	m ² /m ³	0,122
Rodillos	u/m ³	0,205
Pintura	l/m ³	1,332
Material eléctrico	\$/m ³	15,21
Recubrimientos internos de la Trituradora	u/m ³	0,048
Pantallas de impacto de la Trituradora	u/m ³	0,046
Parrillas de retención	u/m ³	0,024
Rodamientos especiales	u/m ³	0,033
Materiales auxiliares	\$/m ³	60,0
Combustible diésel	t/m ³	2320
Equipos de protección e higiene	\$/ m ³	31,318

Observación: Como la planta aún no está en funcionamiento, los valores de los materiales fueron estimados de acuerdo con el precio del mercado de materiales de construcción.

2.19. Control del proceso

Para el control del proceso tecnológico se han establecido varios puntos en los cuales se combinan la inspección visual con ensayos físicos mecánicos de laboratorio, que son evaluados según las normas cubanas que rigen cada uno de ellos.

1- Punto de inspección No. 1 trituración primaria

Parámetros a controlar:

- Abertura de descarga
- Contenido de arcilla
- Alimentación horaria

2- Punto de inspección No. 2 Clasificación primaria

Parámetros a controlar:

- Abertura de los paños
- Regulación de las válvulas para controlar el caudal de agua
- Flujo de Alimentación a la zaranda
- Estado técnico de la zaranda
- Limpieza de los orificios de los Sprays

3- Punto de inspección No. 4 y 5 Trituración secundaria

Parámetros a controlar

- Abertura descarga del triturador
- control de la abertura de trabajo de la trituradora de impacto
- el desgaste de los martillos mediante el método de medición directa utilizando la cinta métrica.

4- Punto de inspección No. 6, 7 y 8

Parámetros a controlar:

➤ La calidad del producto terminado polvo de piedra fracción (0- 5 mm), granito fracción (5 -10 mm) y grava fracción (10-20 mm), teniendo en cuenta los requisitos que deben cumplir los áridos para mezclas asfálticas según la NC 759:2010.

CAPÍTULO III. VALORACION ECONÓMICA, SEGURIDAD INDUSTRIAL Y MEDIO AMBIENTE

3.1. Introducción

En este capítulo se realiza la valoración económica del proyecto y se brindaran conductas a seguir para prevenir y corregir efectos negativos a la seguridad del personal y equipamiento de la planta y al medio ambiente.

Para la realización del estudio económico se tuvo en cuenta variables como: gastos de inversión inicial, gastos de explotación, cash-flows, tiempo esperado de retorno y por último el coste de financiación. Se utilizó la metodología de estimación de costos en minería (Andrew, Mular et al. 1998).

- **Inversión inicial:** desembolso previo que ha de realizarse para poner en funcionamiento la explotación como pueden ser los estudios previos para la instalación de una planta piloto.
- **Gastos de explotación:** gastos de explotación son los siguientes a la inversión inicial, se pueden englobar elementos como los gastos de compra de suministros, energía, salarios de los empleados y el mantenimiento de la planta.
- **Cash-flows:** fondos netos generados periódicamente por el proyecto en cada periodo y se considera la diferencia entre los ingresos y los pagos.
- **Tiempo esperado de retorno:** según la Comisión Nacional del mercado de Valores (CNMV) el tiempo esperado de retorno se define como el “periodo de tiempo durante el cual el inversor está dispuesto a mantener invertido su capital.
- **Coste de financiación:** costes derivados de la financiación que se recibe para hacer frente a los gastos de inversión inicial.

3.2 Valoración económica del proyecto

En primer lugar, se hace un análisis de los gastos, pues es el paso previo a la puesta en funcionamiento de la planta, lo anteriormente denominado inversión inicial. Dentro de la inversión inicial están los gastos derivados de los estudios

previos de viabilidad, las tasas e impuestos, compra de maquinaria, la obra y construcciones derivadas de la puesta en funcionamiento de la planta.

Estos gastos se agrupan en gastos previos directos y gastos previos indirectos:

- Gastos previos directos: Investigación, análisis de mercado, tasas, impuestos y compra de maquinaria
 - Estudios previos: 4.000USD
 - Tasas e impuestos: 4.000USD
 - Instalación de la planta: 380 700.55 MN
 - Compra de maquinarias mineras: 1 380 000 MN
 - Total de gastos previos directos: 1 768 701 MN

- Gastos previos indirectos: Corresponden a las construcciones y obra para la puesta en funcionamiento y a la instalación eléctrica:
 - Obra civil: Se calculan como el 5% del total de los gastos previos directos.
 - Instalación eléctrica: Se calculan como el 10% de los gastos de la compra de maquinaria.
 - Total de gastos previos indirectos: 1 406 186 MN

La suma de todos los factores hace un total de gastos de inversión de 3 174 887 MN.

Para la realización de la estimación de coste de los equipos de la planta, se recurrió a la estimación de precio de mercado de este tipo de maquinarias con sus características, se utilizó el modelo PE600×900, CSB160-1295 y las cribas modelos Vaglio vibrante inclinado W 300/2 y W 500/3. De acuerdo al valor dado de la instalación de la planta arrojando un precio de unos 380 700.55 MN.

- Gastos de explotación

Estos gastos se contabilizan de manera anual y son derivados del mantenimiento de la planta, salarios de personal, compra de suministros, energía y demás gastos derivados del funcionamiento.

- Gasto de salario del personal

El gasto de salario del personal se determinó según el salario máximo y mínimo mensual (462-30 MN) establecido para trabajadores de la cantera, multiplicando los salarios mensuales por el número de meses del año, lo que hace un total de: 112992 MN/año. En estos salarios se incluye el pago del 5 % de la seguridad social, que recibe el estado de parte de las empresas, de forma tal que se pueda contabilizar como gasto. Lo que hace un monto de 4519.68 USD por año.

- Mantenimiento de la planta

Según la metodología de cálculo CapCost, se estima el 10% del total del importe de los gastos de la compra de maquinaria, lo que en este caso supone 176070 MN anuales.

- Suministros y energía

El consumo de energía es un factor que depende de la cantidad de material a tratar, en este caso áridos. Para el dimensionamiento hecho de la planta, se ha calculado un total de 155520 t/año, ya que se ha supuesto una alimentación de 74.25 t/h y 288 días al año según el calendario laboral, con un coste medio de mercado se tiene un gasto de 281472 MN al año en materia prima y genera un gasto eléctrico de unos 992584 MN al año. El valor de la materia prima se considera que se mantiene constante, pero el de la energía puede aumentar en un 2%, igual que el de mantenimiento.

- Costo de otros gastos

El costo de otros gastos que puedan surgir en la planta, imprevistos, sería el 15 % del costo total (Mular and Bhappu 1980). En este caso se estima un costo de 264105 MN.

Todos estos valores arrojan un gasto de explotación de 1 827 223 MN.

3.3. Costo de capital de la planta

El costo de capital de la planta, se determinó por los gastos de inversión y los de explotación. Da un valor aproximado de 5 027 477 USD, que debe ser el

presupuesto a pedir al banco para la implementación de la planta de procesamiento.

3.4. Ingresos por venta de productos

Realizado el cálculo de la estimación de gastos de la planta durante la etapa de su vida útil, ha de efectuarse una estimación de los ingresos durante ese tiempo. Para la determinación de estas variables se han tenido en cuenta las tres fracciones diferentes que existen en las líneas de salida (estéril, fracciones mayores de 20-10 mm a 10-5.0 mm y menores de 5.0-0.015 mm), las cuales se han elegido siguiendo la clasificación en la que los productos obtenidos tendrán definido el uso para los aglomerados asfálticos y para revestimientos etc. Para ello se ha estimado un precio medio a partir de una producción de 57 600 m³/año, de áridos, para una producción de 200 m³/día, que se muestran en la siguiente tabla 3.1.

Tabla 3.1 Ingresos por venta de áridos

Año	Fracción 20-10mm	Precio por tonelada	Fracción 10-5.0mm	Precio por tonelada	Fracción 5.0-0.015mm	Precio por tonelada	estéril	Precio por tonelada
1	159859.2	31.93	88012.8	32.06	30105.6	32.28	7142.4	24.5
2	159859.2	31.93	88012.8	32.06	30105.6	32.28	7142.4	24.5
3	159859.2	31.93	88012.8	32.06	30105.6	32.28	7142.4	24.5
4	159859.2	31.93	88012.8	32.06	30105.6	32.28	7142.4	24.5
5	159859.2	31.93 MN	88012.8	32.06 MN	30105.6	32.28 MN	7142.4	24.5 MN

3.5. Financiación de los productos

Debido al gran desembolso inicial (5 027 477 USD), que se necesita para llevar a cabo un proyecto de este tipo, se ha de contar con una financiación que ayude a costear el desembolso inicial correspondiente al año cero y a los gastos del primer año. En la tabla 3.2 se muestran los principales indicadores de financiación y el interés que recibe el banco de un 7 %.

Tabla 3.2 Financiación de los productos

Año	1	2	3	4	5
capital pendiente	5027477	4021981	3016486	2010991	1005495
intereses	251374	201099	150824	100550	50275
amortizado	1005495	1005495	1005495	1005495	1005495
cuota	1256869	1206594	1156320	1106045	1055770

3.6. Análisis a partir de los criterios estadísticos

Para el análisis estadístico se utilizaron los siguientes indicadores económicos:

- VAN (Valor Actualizado Neto): se utiliza para evaluar las propuestas de inversión de capital mediante la obtención del valor presente de los flujos netos de efectivo en el futuro, descontando al costo de capital de la empresa a la tasa de rendimiento requerida. Representa la rentabilidad real de la misma, es decir, los beneficios o pérdidas netas que va a producir la planta de procesamiento.

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{FC}{(1+k)^t} \quad (3.1)$$

$$VAN = 15\,877\,099.06$$

Donde:

t: periodo año donde se encuentra el flujo (5 años)

k: costo de capital (15 %)

- Tasa interna de retorno (TIR): evalúa las propuestas de inversión mediante la aplicación de la tasa de rendimiento sobre un activo la cual se calcula encontrando la tasa de descuento que iguala el valor presente de los flujos futuros de entrada de efectivo al costo de la inversión. Se define como el tipo de interés que hace que el VAN de la inversión sea nulo.

- Período de recuperación de la inversión (PR): es el número de años para los que el VAN de la inversión es nulo y representa el número de años a partir del cual la inversión es económicamente rentable. Es fácil de calcular y proporciona una medición de la velocidad con que se reembolsa el efectivo invertido, pero

no considera los flujos de caja generadores después del plazo de recuperación de la inversión.

$$PR = A_{ART} + \frac{C_{NRPA}}{F_{AR}} \quad (3.2)$$

$PR = 3 \text{ años y } 2 \text{ meses}$

Donde:

A_{ART} : Año anterior de recuperación total

C_{NRPA} : Costo no recuperado a principio de año

F_{AR} : Flujo del año de recuperación

A partir de los valores calculados se plantea que el flujo efectivo en el transcurso de los 5 años que se asumen para la depreciación del equipamiento, es el tiempo en que los equipos deberán ser cambiados o reparados.

En la tabla 3.3 se arrojan los resultados de los análisis económicos, conocer el rendimiento y la viabilidad de la futura explotación de árido.

Tabla 3.3. Resultados del análisis económico

Criterios	1	2	3	4	5
Ingreso	9072792.19	9072792.19	9072792.19	9072792.19	9072792.19
Gasto	1844590.333	1866342.228	1888420.401	1910829.747	1933575.234
Intereses	251374	201099	150824	100550	50275
Beneficio Bruto	6976828	7005351	7033547	7061413	7088942
Amortización equipo	636577	636577	636577	636577	636577
Beneficio tras impuesto	3898361	3916901	3935229	3953341	3971235
Reembolso Crédito	1005495	1005495	1005495	1005495	1005495
Flujo de caja	3529443	3547983	3566311	3584423	3602317
Flujo actualizado	-3393695.068	-3280309.483	3170437.069	3063979.843	2960842.055

De acuerdo con los resultados obtenidos, del valor actual neto (VAN = 15 877 099.06 MN), y la tasa interna de retorno (TIR= 14%) y tiempo de recuperación (PR=3 años), se puede decir que la planta es rentable.

Analizando el flujo de caja en la figura 3.1 se observa que se empiezan a tener beneficios netos a partir del tercer año, por lo que se supone un proyecto viable debido a los beneficios que se generarán, especialmente indicados por las tasas de VAN positivas y valores del TIR con esos porcentajes.

Estos valores presentan un incremento cada año debido al aumento porcentual presupuestado del precio de venta de los productos finales.

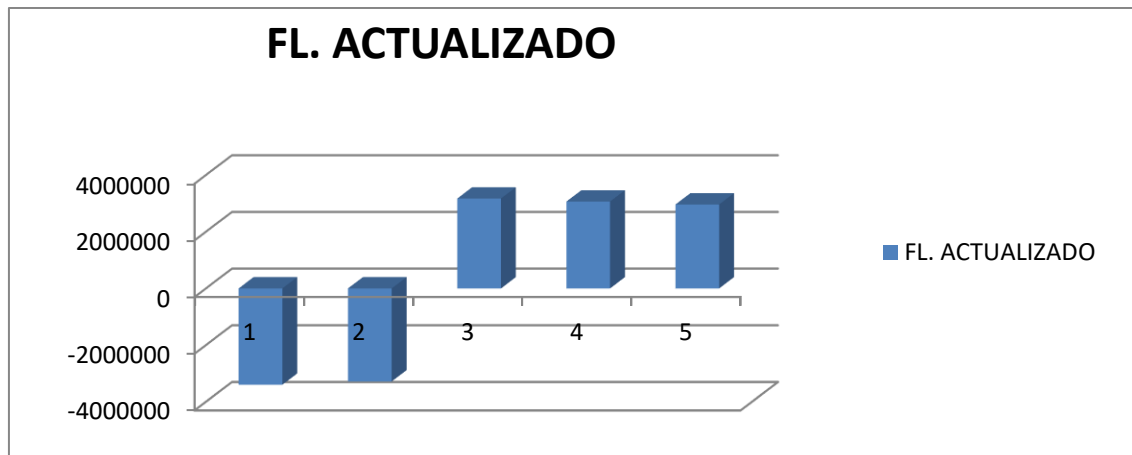


figura 3.1. Flujo de caja para 5 años

3.7. Seguridad industrial y medio ambiente

La necesidad de explotación de los recursos minerales, podría conllevar a una posición depredadora del medio sino se cumplen con las obligaciones que dispone la aplicación de las Leyes de Minas y de Medio Ambiente. Constituye una obligación llevar a cabo el desarrollo sostenible de la actividad minera en Cuba (Serrano 2015).

3.7.1. Seguridad Industrial

Medidas de seguridad a tomar en la planta de procesamiento

1. Los elementos de protección colectiva deben persistir en todo momento instalados en perfecto estado de mantenimiento. En caso de rotura o desperfecto se renovarán de forma inmediata.
2. Revisiones de diseño y construcción antes de la puesta en marcha de la planta.
3. Únicamente el personal responsable está autorizado a hacer funcionar la instalación o intervenir durante el trabajo normal; y en forma especial, cada operación de puesta en marcha debe ser realizada exclusivamente por personal calificado y autorizado.
4. Luego de transcurridas algunas horas de trabajo posteriores a la primera puesta en marcha, será necesario detener la máquina para controlar el correcto ajuste de todos los bulones de fijación.
5. Señales y rótulos de seguridad.
6. Limpieza y organización del área de trabajo.
7. Se prohíbe obstruir las áreas de trabajo o las vías de acceso a estas, con rocas u objetos que dificulten el tránsito libre del personal y equipos.
8. Se prohíbe la permanencia de personas ajenas al trabajo en las plataformas de trabajo.
9. Desarrollar exámenes rigurosos de todos los equipos y operaciones para comprobar la funcionalidad de los mecanismos de seguridad y valorar los riesgos potenciales.
10. Todos los ajustes de tipo mecánico o eléctrico deben ser efectuados por personal calificado y autorizado, en especial en lo que se refiere a los dispositivos de seguridad.
11. Colocación de cubiertas de protección en máquinas.
12. Conectar a tierra las líneas y equipos para impedir chispas inducidas por la electricidad estática. Marcar todas las líneas y equipos eléctricos.
13. Adecuada iluminación en las áreas de trabajo.

14. Los camiones al llegar a la tolva de alimentación tienen que esperar la señal sonora para depositar la materia prima.

3.8. Plan de mantenimiento

Los principales objetivos del mantenimiento son: bajar los costos de producción, reducir las paradas imprevistas, mejorar la calidad del producto, planear las actividades, hacer el proceso más seguro, respetar el medio ambiente y prolongar la vida útil de la maquinaria.

A continuación, se puntualizan brevemente los aspectos que se deben priorizar durante los trabajos de mantenimiento según se requiera en los componentes de la planta; además se recomienda para mayor seguridad consultar el manual del equipo del fabricante.

3.7.1. Mantenimiento y ajustes de tipo habitual

Limpieza de la máquina y los dispositivos de seguridad

Paneles de control y cuadro de comandos

Precribador vibratorio serie AVC

Cintas transportadoras serie B800

Machacadora de mandíbulas primarias modelo PE600×900

Trituradora secundaria CSB160-1295

3.9. Residuos del proceso tecnológico

En el proceso tecnológico para la obtención de los productos finales no se generan residuos líquidos ya que este se realiza por vía seca. El estéril es comercializado como material de relleno.

3.9.1. Residuos propios del mantenimiento de los equipos

Los residuos generados del mantenimiento de los equipos de la planta serán depositados en contenedores temporales ubicados en los lugares aislados de la instalación, los cuales estarán debidamente señalados o identificados según el tipo de residuos peligrosos o no peligrosos. El personal responsable de la operación y mantenimiento de la planta, será encargado de la recolección de residuos.

Residuos peligrosos: contenedores vacíos que contuvieron materiales peligrosos y equipos de seguridad contaminados con estos. Restos de aceites, pueden ser tóxico-inflamable, al igual que estopas, filtros y guantes impregnados de aceites y grasas.

Residuos no peligrosos: restos de placas de acero, tuberías, bandas y cualquier otro elemento sustituido por deterioro.

3.10. Impacto ambiental producido por la actividad de procesamiento

3.10.1. Sobre el suelo

La eliminación directa del suelo, su ocupación por la creación de la planta, pérdida de la calidad y cantidad de suelo y la introducción de efectos negativos edáficos (compactación, erosión, acumulación de finos, polvos) suponen la pérdida irreversible de recursos naturales de gran valor y muy difícil restauración.

3.10.2. Sobre la atmósfera

Disminución de la calidad del aire, originada principalmente por la emisión de los polvos en el ambiente producto al tráfico de los camiones y demás vehículos, descarga de la materia prima y su posterior trituración, en la carga del producto terminado y por la acción del viento en superficies cubiertas de partículas finas.

El ruido y vibraciones producidas en las diferentes operaciones se convierten en un contaminante del clima sonoro.

3.10.3. Sobre el paisaje

Modificación de la estructura visual del paisaje local por la alteración de sus elementos y sus componentes básicos. Esto, supone unido a la introducción de los elementos artificiales discordantes con el entorno, una disminución de la calidad paisajista de la zona. La transformación y homogenización de la textura por la eliminación de la vegetación en toda el área.

3.10.4. Sobre la fauna

Recorte o fragmentación de las áreas de campeo; estrés por ruido y funcionamiento de maquinaria y afección a áreas de mayor biodiversidad.

3.10.5. Sobre la flora

Eliminación de la cubierta vegetal en la superficie de la instalación, acopios y pistas; polvo recubriendo especies vegetales y compactación del terreno por tránsito de vehículos pesados que dificulta su recuperación.

3.11. Medidas de mitigación

Las medidas mitigadoras propuestas incluyen:

1. Implementar prácticas adecuadas de manejo de combustibles y lubricantes con el fin de evitar derrames, mantener programas de contingencias ante derrames.
2. Cumplimiento de las normas de almacenamiento de residuos peligrosos.
3. Realizar pantallas cortavientos para disminuir los efectos del viento en el suelo y así reducir la erosión.
4. Humectación de superficies, limitación en la velocidad de los camiones y máquinas, cobertura de las camas de los camiones, construcción de barreras artificiales, almacenamiento de áridos en proceso bajo techo.
5. Elección del emplazamiento de la planta de tratamiento, considerando la geografía del terreno y la posición de los diferentes afectados de forma que el ruido sea mínimo para éstos.
6. Correcta distribución de los equipos en la planta, mediante un diseño correcto y cuidadoso de las nuevas instalaciones para que las máquinas se distribuyan de manera que se reduzca en lo posible la emisión de ruido.
7. Disminución de las alturas de caída libre de los materiales.

CONCLUSIONES

1. Se caracterizaron las propiedades físico-mecánica de la materia prima, lo que permitió la determinación del peso volumétrico seco ($2,58\text{gr/cm}^3$), peso volumétrico saturado($2,61\text{gr/cm}^3$), absorción (3.04%), peso específico ($2,69\text{ gr/cm}^3$) y resistencia a la compresión ($581,56\text{ gr/cm}^2$).
2. Se seleccionó el esquema tecnológico tipo BA que cuenta con dos etapas de trituración y cribado con ciclo cerrado en la última etapa, para la obtención de las fracciones 20-10 mm, 10-5 mm y 5-0.015 mm.
3. Se realizó la valoración económica del proyecto, con la inversión aproximada de 5 027 477 USD, se obtiene un VAN de 15 877 263.52 MN y una TIR del 14% en un período de recuperación de tres años y dos meses, por lo que se puede asegurar la factibilidad de la inversión.
4. Se elaboraron las medidas de seguridad y mitigación fundamentales de la planta, tales como implementación de prácticas adecuadas en el manejo de combustibles y lubricantes con el fin de evitar derrames, cumplimiento de las normas para almacenamiento de residuos peligrosos, realizar pantallas cortavientos para disminuir los efectos del viento, Humectación de superficies, correcta distribución de los equipos en la planta. Se tuvo en cuenta el plan de mantenimiento. así como el impacto ambiental producido por la actividad de procesamiento.

RECOMENDACIONES

- Presentar los resultados a la empresa para su análisis e implementación.
- El proyecto sirva de apeo práctico a los estudiantes en la realización de los trabajos de esta índole, y que consigne en el plan de estudio de la carrera.
- Como propuesta, el trabajo valga de base para otros proyectos de investigación de plantas similares.
- Implementar vías de comercialización del material estéril, para cubrir otros consumos de la planta.
- Analizar la diversificación de la producción con ajuste tecnológico.

BIBLIOGRAFIA

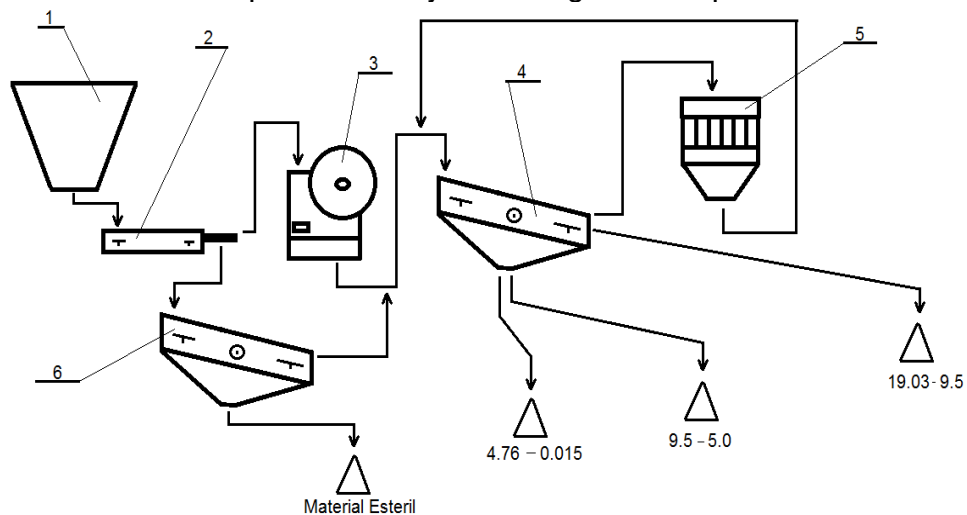
1. Acevedo, H. and R. Guerra (2005). "Factibilidad técnica y económica de la explotación de un yacimiento de Caliza en la Región Metropolitana ", UNIVERSIDAD DE CHILE: 13.
2. Andrew, L., et al. (1998). A handbook for estimating mining and mineral processing equipment cost and capital expenditures and aiding mineral project evaluations.
3. Batista, G. (2019). "Yacimiento de rocas y minerales industriales en Cuba.": 20.
4. Bouso, J. L. (1999). "Cálculo de la superficie de cribado." Eral, equipos y procesos, S.A. **42**: 11.
5. Cagigas, P. I. (2018). Diseño, simulación y estudio económico de una planta de tratamiento de áridos universidad de cantabria escuela politecnica de ingenieria de minas y energia: 190.
6. Carrazana-González, H. (2009). Evaluación de alternativas para la producción de áridos a pequeña escala., universidad central Marta Abreu De las Villas: 152.
7. Castillo, R. C. (2015). "Uso productivo de los finos residuales de la planta de tratamiento de áridos." Taller sobre las experiencias en la explotación de yacimientos para la industria de materiales de construcción **010**: 8.
8. Andréiev, S.E. et al. (1980). Trituración, desmenuzamiento y cribado de minerales. Moscú, Mir.
9. Eiranova, M. Z. (2012). Proyecto de una planta de trituración para canteras de caliza, escuela tecnica superior de ingenieros de minas: 104.

10. Gonzales, G. F., et al. (2010). Automatización e Instalación de una Planta de áridos.
11. Mular, A. L. and R. B. Bhappu (1980). mineral processing plant design. Nueva York.
12. Rázumov, K. A. and V. A. Perov (1982). Proyectos de fabricas de preparación de minerales.
13. Restrepo, s. A. E. (2016). Mejora del proceso productivo de áridos. Departamento de ingeniería geologica. Medellín-Colombia, escuela tecnica superior de ingenieros de minas y energia: 81.
14. Rodríguez, J. P. C. (2016). Estudio preliminar para el uso de áridos reciclados en la norma Cubana, Universidad central "Marta Abreu" de las villas: 63.
15. Serrano, H. M. (2015). "Tabloide de medio ambiente. Suplemento especial." 35.
16. Spivakoski, A. O. (1982). Transportadores de Banda para la Industria Minera, universidad de Moscú.
17. Oficina Nacional de Normalización (1985). Materiales y productos de la construcción. Roca natural. Determinación de la resistencia a la compresión. NC: 54-32 1985.
18. Oficina Nacional de Normalización (2002). Áridos gruesos. Abrasión. Método de ensayo. 188.
19. Oficina Nacional de Normalización (2002). Áridos gruesos. Determinación de las partículas planas y alargadas. Método de ensayo. 189:2002.
20. Oficina Nacional de Normalización (2002). Áridos gruesos. Determinación del índice de triturabilidad. Método de ensayo, 2002. NC:190.

- 21.Oficina Nacional de Normalización (2002). Áridos gruesos. Determinación del índice de triturabilidad. Método de ensayo. 198.
- 22.Oficina Nacional de Normalización (2002). Áridos. Análisis granulométrico. 178.
- 23.Oficina Nacional de Normalización (2010). Áridos para mezclas asfálticas. Requisitos. 759.
- 24.Oficina Nacional de Normalización (2013). Áridos. Términos y definiciones. 991.
- 25.Partido Comunista de Cuba (2011). Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución.
- 26.Cepeda, Y. C. (2009-2010). Evaluación del uso de áridos triturados obtenidos en condiciones locales en la resistencia a la compresión de un hormigón, universidad central Marta Abreu de las villas: 59.

ANEXOS

Anexo-1. Esquema del flujo tecnológico de la planta Maraví



Anexo-2 Cinta transportadora B800



Anexo. 3 Precibador AVC



Anexo 4. Triturador primario modelo PE600×900



Anexo 5. Triturador secundario CSB160-1295



Anexo 6. Vaglio vibrante inclinado W 300/2 y W 500/3



Anexo 7. camión SUPERKAMAZ



Anexo 8. Buldócer frontal marca XCMG modelo TY - 230

