



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA

“Dr. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ”

FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

DEPARTAMENTO DE MINERÍA

Trabajo de diploma presentada en opción al Título de Ingeniero de Minas

**PROYECTO DEL ESQUEMA TECNOLÓGICO DE LA PLANTA DE
PROCESAMIENTO DE ÁRIDOS CERRO CALERA BARIAY**

Autor: Arletty Llevat Madrazo

Moa/2018



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO DE MOA

“Dr. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ”

FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

DEPARTAMENTO DE MINERÍA

Trabajo de diploma presentada en opción al Título de Ingeniero de Minas

**PROYECTO DEL ESQUEMA TECNOLÓGICO DE LA PLANTA DE
PROCESAMIENTO DE ÁRIDOS CERRO CALERA BARIAY**

Autor: Arletty Llevat Madrazo

Tutores: Dra. C. Naisma Hernández Jatib

MSc. Rogelio Romentol Cruz

Moa/2018

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo: Arletty Llevat Madrazo, autora de este trabajo de diploma, que tiene como título: **``Proyecto del esquema tecnológico de la planta de procesamiento de áridos Cerro Calera Bariay``** y los tutores, Dra.C Naisma Hernández Jatib y MSc. Rogelio Romentol Cruz declaramos la propiedad intelectual de este al servicio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

Para que así conste, firmo la presente a los ____ días del mes de _____ del año 2018.

Firma del autor

Dra.C Naisma Hernández Jatib

Firma del tutor

MSc. Rogelio Romentol Cruz

Firma del tutor

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a

Mis padres Marlene Madrazo Mesa y Máximo Llevat Blanco

Mi hermano Victor Máximo Llevat Blanco

Mi novio Yoni Pérez de la Cruz

AGRADECIMIENTO

A mi familia por todo su apoyo y esfuerzo para que pudiera convertirme en una profesional, en especial a mi madre por comprenderme como solo ella sabe y brindarme serenidad en tiempos abrumadores.

A mi querido novio, Yoni Pérez de la Cruz mi sostén diario y su familia que ya la he hecho propia, por toda su ayuda y preocupación durante el desarrollo de esta investigación.

A mis tutores de tesis: la doctora Naisma Hernández Jatib y el master Rogelio Romentol Cruz por sus inestimables y acertados aportes a esta investigación.

A mí estimada tía por estar siempre atenta a mis necesidades.

A mis compañeros y amigos Annelis, Ignacio y Yasmani por tantas cosas vividas y compartidas en estos cinco años de formación.

Al ingeniero Luis Vega Martínez por su colaboración.

Al doctor Roger Samuel Almenares Reyes por su contribución y paciencia.

A todo el claustro de profesores de los cuales he tenido el placer de nutrirme de sus conocimientos.

A todos aquellos que tuvieron fe y confianza en mí

A todos, muchísimas gracias y mi eterno agradecimiento.

La autora

PENSAMIENTO

Algunas personas sueñan con el éxito...mientras otras se despiertan y trabajan duro para lograrlo.

José Martí



RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo elaborar el proyecto para el esquema tecnológico de la planta de procesamiento de áridos de la Cantera Cerro Calera Bariay, que permite suministrar la materia prima necesaria para la construcción del polo turístico de la costa norte de la provincia de Holguín. 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, la Tasa Interna de Retorno (TIR) 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

The objective of this work is to elaborate the project for the technological scheme of the aggregate processing plant of the Cantera Cerro Calera Bariay, which allows to supply the necessary raw material for the construction of the tourist pole of the north coast of the province of Holguín. The methodology used is based on the analysis of the engineer-geological characteristics of the area, taking into account the physical-mechanical properties of the mineral. Then the calculation of the technological scheme was made, the parameters of the production process were determined and the equipment for the plant was chosen. The evaluation of the security measures, the maintenance plan and the environmental impact produced by the processing activity was proposed, as well as the proposal of mitigation and correction measures. The results obtained from the financial evaluation determined that the implementation of the study is feasible, taking into account that a positive NPV was obtained, the Internal Rate of Return (IRR) is above the Discount Rate and the benefit-cost ratio (B/C) was greater than the unit, so the project offers profitability.

Key words: project, scheme, technological, processing, aggregates

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA.....	5
1.1 Introducción.....	5
1.2 Estado actual de la temática.....	5
1.3 Actualidad de la temática en Cuba	6
1.4 Breve descripción de las investigaciones precedentes en la cantera Cerro Calera Bariay	7
1.5 Caracterización ingeniero-geológica del área de estudio ¡Error! Marcador no definido.	
CAPÍTULO II. CARACTERÍSTICAS Y PROCESO TECNOLÓGICO DE LA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE ÁRIDOS.....	7
2.1. Introducción	10
2.2. Características mineralógicas, químicas y físicas de la materia prima.....	10
2.2.1 Características mineralógicas de la materia prima	10
2.2.2 Características químicas de la materia prima.....	10
2.2.3. Características físicas de la materia prima	11
2.3 Investigaciones tecnológicas y características cualitativas de los productos finales	11
2.3.1. Investigaciones tecnológicas.....	11
2.3.2 Características cualitativas de los productos finales	17
2.4 Capacidad anual de procesamiento de la planta.....	17
2.5 Esquema del flujo tecnológico	17
2.6 Presa de agua y cola.....	19
2.7 Régimen de trabajo y cálculo de la capacidad instalada.....	19
2.7.1 Régimen de trabajo	19
2.7.2 Cálculo de la capacidad instalada	20
2.8 Fuerza de trabajo.....	35
2.9 Equipamiento.....	36
2.10 Materiales	40
2.11 Control del proceso	41
CAPÍTULO III. SEGURIDAD INDUSTRIAL, MEDIO AMBIENTE Y VALORACIÓN ECONÓMICA.....	43
3.1. Introducción	43
3.2 Seguridad Industrial.....	43

3.2.1 Medidas de seguridad a tomar en la planta de procesamiento	43
3.2.2 Plan de mantenimiento	45
3.2.3 Residuales	47
3.3 Medio Ambiente	48
3.3.1 Impacto ambiental producido por la actividad de procesamiento	48
3.3.2 Medidas de mitigación y corrección.....	49
3.4 Valoración económica del proyecto	50
3.4.1 Costos de capital de la planta	52
3.4.2 Ingresos por venta de productos.....	54
3.4.3 Financiación de los productos	54
3.4.4 Análisis a partir de los criterios estadísticos.....	55
CONCLUSIONES	58
BIBLIOGRAFÍA.....	59
ANEXOS	61

INTRODUCCIÓN

En Cuba, la industria de materiales de construcción es una de las principales ramas de la economía en la que juega un papel fundamental la explotación de yacimientos para la obtención de áridos y materiales que deben integrarse y conciliar en dos esferas: la cooperación en los propósitos y proyectos de la Revolución y su aporte a las exigencias de las estrategias nacionales y provinciales que estén en correspondencia con el papel de cada región y su vínculo 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.

Dependiendo del tipo de mineral a extraer, la minería se divide en metálica y no metálica esta última también denominada minería de cantera, los que son usados como materiales de construcción y las rocas industriales como materia prima para la joyería, ornamentación, entre otros usos; se pueden distinguir tres tipos de canteras, las canteras de áridos, de roca ornamental y las de rocas y minerales industriales.

Los áridos son materias primas minerales que están íntimamente relacionadas con el desarrollo socio-económico de un país y, consecuentemente, con la calidad de vida de la sociedad, y constituye un buen índice de la actividad económica de una nación en cada momento.

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 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. 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.

Hoy en día, las plantas de procesamiento de áridos se diseñan para producir una amplia gama de granulometrías, que permite adaptarse al requerimiento del cliente. La eficiencia del proceso se debe a la continuidad del mismo, a los equipos utilizados y las técnicas de automatización y control. La utilización de nuevas tecnologías mejora el rendimiento de los procesos y optimizan los resultados.

El proceso productivo para obtener distintos tipos de áridos, 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, pues requiere poco espacio y es independiente de fuentes de abastecimiento de agua.

Considerando el transporte del material y movilidad de este, se pueden considerar dos tipos de plantas, fijas o estacionarias y móviles o portátiles.

El tipo de planta considerada para el yacimiento objeto de estudio es fija, y 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.

Debido a la importancia económica de las obras de infraestructuras que se acometen como plan de desarrollo económico y social; el yacimiento objeto de estudio es fuente alternativa de materia prima en función de resolver problemas apremiantes que presenta la provincia y el país para la construcción. Surge precisamente, como componente de un proyecto de la Industria de Materiales de la Construcción dirigido a asegurar las demandas del emergente polo turístico del Ramón de Antilla.

La actual suministradora de materia prima para la fábrica de asfalto que conformará los viales de acceso al referido complejo turístico reporta gastos por concepto de

combustible debido a la distancia de transportación entre estas (120 km). La planta de procesamiento objeto de estudio por su ubicación reduce en 100 km los ciclos de ida y vuelta que median entre la planta de asfalto y el establecimiento que le abastecía de piedra procesada.

Partiendo de lo anterior se declara como **problema** de la investigación la necesidad de elaborar el proyecto del esquema tecnológico de la planta de procesamiento de áridos Cerro Calera Bariay.

Objeto de estudio: proyecto del esquema tecnológico de la planta de procesamiento de áridos.

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

Campo de acción: esquema tecnológico de la planta de procesamiento de áridos

Hipótesis: si se analizan las características tecnológicas de la materia prima, se calcula el esquema tecnológico, se realiza la valoración económica del proyecto, proponer 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 Cerro Calera Bariay.

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

1. Analizar las características tecnológicas de la materia prima,
2. Calcular el esquema tecnológico de la planta de procesamiento,
3. Realizar la valoración económica del proyecto, proponer medidas de seguridad industrial y de mitigación de impacto ambiental en la planta de procesamiento de áridos.

Los principales métodos de investigación científica empleados en el trabajo se exponen 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. ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA

1.1 Introducción

El objetivo del presente capítulo es brindar una perspectiva general sobre la tendencia actual de los equipamientos y sistemas para la preparación de minerales en el mundo y la producción de áridos en Cuba, asimismo un breve acercamiento a las características ingeniero-geológicas de la cantera de calizas Cerro Calera Bariay a partir del estudio de las investigaciones precedentes en la misma.

1.2 Estado actual de la temática

En los últimos años, en la técnica de preparación de minerales se han producido a nivel mundial grandes cambios; surge la tendencia de proporcionar a las plantas de áridos una mayor flexibilidad en su funcionamiento y tener un aprovechamiento de las instalaciones de la explotación. El aumento de la demanda de áridos, hace que algunas plantas hayan experimentado un desbordamiento debido a la ineficacia del sistema; para satisfacer los mercados se necesitan sistemas adecuados al nivel de producción. Se precisa plantear un sistema independiente capaz de proporcionar el menor número de incapacidades al sistema productivo.

La inserción de sistemas automatizados de mando del proceso tecnológico en las plantas, hace 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. Además realizan la elaboración de los productos finales, para su posterior comercialización, todo ello tanto en su aspecto técnico como económico. Para corroborar el correcto funcionamiento del proceso se utiliza un Sistema de Adquisición de Datos (SCADA). En la actualidad se persigue un sistema que sea abierto, de uso general, que mediante programación pueda cumplir los requisitos necesarios para poder controlar diferentes tipos de plantas de áridos con la fiabilidad exigida en cada campo industrial.

Asimismo las nuevas tecnologías para las plantas de procesamiento de áridos exigen la construcción de equipos más eficientes y con un alto nivel de producción, de manera que permitan mejorar las condiciones laborales y elevar el rendimiento de

trabajo y economizar recursos materiales. Se ha establecido la tesis acerca del carácter económico 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 de 3 000 mm y cribas vibrantes con tamiz de un área de más de 15 m² (González et al., 2010).

La autora del presente trabajo considera que a pesar de que la industria de materiales para la construcción en el país no cuenta con presupuesto para la adquisición de las mencionadas tecnologías es prudente tener en cuenta que en este campo existe tecnología de punta que abaratan costos de producción y se garantiza mayor calidad del producto final.

1.3 Actualidad de la temática en Cuba

Para la producción de áridos de trituración se utilizan en Cuba varios tipos de rocas como calizas, calizas dolomíticas y margas; el país cuenta 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, 2009).

Como parte de un proceso inversionista para la Industria de Materiales de la Construcción que aprobó el Comandante en Jefe Fidel Castro en febrero de 2005, de 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, se aprueban proyectos para la instalación y actualización de plantas de procesamiento de áridos a lo largo de todo el país.

Existen plantas productoras en el país que 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 incremento

en los niveles de producción, que pasa de una capacidad de más 400 m³/día de áridos a más de 600 m³/día.

1.4 Breve descripción de las investigaciones precedentes en la cantera Cerro Calera Bariay

Las calizas de la región Bariay se comienzan a explotar en el año 1970 por la Empresa de Materiales de Construcción de Holguín por un periodo de 15 años hasta su paralización. Los trabajos realizados en el yacimiento, no constan en ningún documento oficial, tampoco existe un informe geológico de esa etapa de explotación; aunque si se conoce por entrevistas realizadas que se explotaba con el objetivo de extraer la caliza como materia prima para la construcción y la industria azucarera (ENIA, 2014).

A partir del año 2014 comienzan los estudios en la zona y hasta la actualidad solo se han realizado tres investigaciones; la primera corresponde a la realizada por la Empresa Geominera Oriente para realizar estudios geológicos en la cantera de Cerro Calera Bariay de calizas, con el propósito de evaluar una materia prima que responda a los requisitos de calidad que garantice la producción de áridos para la construcción (ENIA, 2014). Otra de las investigaciones realizadas a la zona de estudio corresponde a Dos Santos (2017), su propuesta está dirigida a la elaboración del proyecto de explotación del yacimiento Cerro Calera Bariay. Sin embargo, este no recoge dentro de sus objetivos el diseño de la planta de procesamiento de esta concesión minera. Se realizó además como investigación el proyecto de rehabilitación solo para la explotación en los frentes de cantera, pero no se tuvo en cuenta el impacto producido por la planta de procesamiento.

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, y especifica en la segunda sección, en el **ARTÍCULO 41** 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 y,
- 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. En consecuencia, se citan los lineamientos:

138. Prestar mayor atención en la formación y capacitación continuas del personal técnico y cuadros calificados que respondan y se anticipen al desarrollo científico

tecnológico en las principales áreas de la producción y los servicios, así como a la prevención y mitigación de impactos sociales y medioambientales.

218. Prestar atención prioritaria al impacto ambiental asociado al desarrollo industrial existente y proyectado, en particular, en las ramas de la química; la industria del petróleo y la petroquímica; la minería, en especial el níquel; el cemento y otros materiales de construcción; así como en los territorios más afectados; incluyendo el fortalecimiento de los sistemas de control y monitoreo.

233. Recuperar e incrementar la producción de materiales para la construcción que aseguren los programas inversionistas priorizados del país (turismo, viviendas, industriales, entre otros), la expansión de las exportaciones y la venta a la población. Desarrollar producciones con mayor valor agregado y calidad. Lograr incrementos significativos en los niveles y diversidad de las producciones locales de materiales de construcción y divulgar sus normas de empleo.

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 y los aspectos tecnológicos de los mismos, y teniendo en cuenta la capacidad productiva que se pretende obtener de esta planta, se selecciona y calcula el esquema tecnológico, la capacidad montada 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.

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

2.2.1 Características mineralógicas de la materia prima

En el techo (primeros 20 – 40 cm) y paredes del depósito la mineralización está representada por una secuencia carbonatada, recristalizada, fracturadas, conteniendo intercalaciones terrígenas que aprovechan las grietas y poros, a partir de la cual en toda su extensión tanto por el rumbo como por su profundidad la misma se presenta masiva con cierto agrietamiento rellenas en parte por calcitas, de coloración blanco y tonalidades amarillentas (ENIA, 2014).

2.2.2 Características químicas de la materia prima

El estudio se centró en la secuencia sedimentaria representada por calizas organodetríticas para caracterizar químicamente el depósito.

De los resultados de análisis químicos realizados a las 3 muestras compuestas, se pudo determinar que el yacimiento cuenta con una caliza cuyo contenido de CaCO_3 promedio se comporta en 96.10 %, el CaO con contenido medio de 53.85 %, y como elementos nocivos están el SiO_2 con 1.27 % de promedio, y el SO_3 con contenido promedio de unos -0.10 %, estos elementos nocivos se encuentran por debajo de los parámetros de calidad requeridos para estas rocas.

La tabla 2.1 muestra la composición química promedio a partir de los testigos de perforación realizados en el área de estudio.

Tabla 2.1 Composición química promedio en testigo de perforación

No. de pozo	No. de muestras	Total (m)	CaCO ₃	CaO	SiO ₂	SO ₃
			(%)			
P – 5;6	1TN	12,0	96,05	53,81	1,02	– 0,1
P – 5;6	2TN	18,0	96,05	53,81	1,70	– 0,1
P – 1;2;3;4		18,0				
P – 5;6	3TN	20,0	96,25	53,93	1,10	– 0,1
P – 1;2;3;4		21,0				
Promedio			96,1	53,85	1,27	– 0,1

2.2.3. Características físicas de la materia prima

Las calizas del yacimiento se presentan en formas masivas, recristalizadas, simulando bloques gigantes, alterados, fracturados en los cortes naturales y/o artificiales en toda su extensión, en los flancos y subyaciendo discordantemente hacia el noroeste se observan las rocas serpentiniticas muy alteradas, agrietadas con óxido e hidróxido de hierro en los planos de grietas y fracturas, estas rocas le sirvieron de caja a la deposición de las calizas durante su formación, se presenta además un gran paquete de margas en su parte lateral al suroeste del sector, formando parte del paquete de calizas, el paquete de rocas tiene forma de Mogote o Cerros.

2.3 Investigaciones tecnológicas y características cualitativas de los productos finales

2.3.1. Investigaciones tecnológicas

Según informe técnico de árido fino para especificaciones en el hormigón (RG IA 23.2), el estudio de las propiedades físico mecánicas de las rocas del yacimiento

Cerro Calera Bariay se centró en la determinación del coeficiente de trituración seco y saturado, absorción de agua, partículas planas y alargadas, masa volumétrica seca y saturada y la abrasión “Los Ángeles” en los grados A; B; C y D al paquete de rocas representadas por calizas organodetríticas, con el objetivo de evaluar su calidad para el uso como árido en la fabricación de mezclas de asfalto de hormigón y sobre todo piedra triturada para otras construcciones. Se realizan además otros ensayos como material más fino que el tamiz No. 200, partículas de arcilla, peso específico corriente, saturado y aparente, peso volumétrico suelto y compactado, porcentaje de vacío, estabilidad de volumen para áridos gruesos, impurezas orgánicas, equivalente de arena y módulo de finura.

- **Coeficiente de trituración seco y saturado (NC 190:2002)**

Este parámetro es el principal discriminante en la evaluación definitiva del yacimiento, por lo que el mismo ha sido objeto de un análisis detallado.

Los seis pozos que entraron en el balance presentaron espesor útil favorable en toda su extensión y profundidad, estuvieron por encima de los requisitos exigidos por la tarea técnica, no observándose un intervalo que tanto por potencia, marca o absorción estuviese fuera de los parámetros exigido (Ver anexo 1).

- **Absorción (NC 187:2002)**

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 1.36 % 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 (Ver tabla 2.2).

Tabla 2.2 Absorción de agua

No.	No. de Muestras	No. de pozo	Desde (m)	Hasta (m)	Absorción (%)
1	1TN	5 – 6	0,00	1200	1,0
2	2TN	1A – 2 – 3 – 4	0,00 12,00	18,00 30,00	1,2
		5 – 6			
3	3TN	1A – 2 – 3 – 4	18,00 30,00	39,00 50,00	1,9
		5 – 6			
Promedio					1,36

- **Partículas planas y alargadas (NC 189:2002)**

Fracción de 5 – 10 mm: Se presenta con un 12.3 % como promedio para los dos bloques de cálculo, estando las muestras de todos los pozos por encima de las exigencias de la tarea.

Fracción de 10 – 20 mm: Tiene tendencia a disminuir la cantidad de partículas planas y alargadas en todos los pozos y muestras tomadas, por lo que se puede deducir que, a mayor granulometría, estos planos disminuyen debido al clivaje que experimentan.

Por lo antes expuesto consideramos que las dos fracciones poseen valores que avalan una calidad adecuada para su uso en los áridos, cumpliendo éstos los parámetros exigidos por la norma (Ver tabla 2.3).

Tabla 2.3 Partículas planas y alargadas

No	No. de Muestras	No de pozo	Desde (m)	Hasta (m)	Partículas planas y alargadas (%)	
					5 – 10 mm	10 – 20 mm
1	1TN	5 – 6	0,00	12,00	12,3	10,0
2	2TN	1A – 2 – 3 – 4	0,00 12,00	18,00 30,00	11,9	10,7
		5 – 6				
3	3TN	1A – 2 – 3 – 4	18,00 30,00	39,00 50,00	12,7	10,8
		5 – 6				
Promedio					12,3	10,5

- Masa volumétrica según testigo de perforación

La masa volumétrica seca para la fracción de 5 – 10 mm, posee valores de entre 2.29 – 2.65 g/cm³, teniendo como promedio 2.55 g/cm³, la masa volumétrica saturada para esa fracción alcanza valores de 2.49 – 2.72 g/cm³, por otro lado para realizar una mejor evaluación también fue evaluada la fracción de 10 – 20 mm en las que se alcanzaron valores de 2.40 – 2.75 g/cm³ para la masa volumétrica seca y de 2.52 – 2.80 g/cm³ para la saturada con un promedio de 2.61 y 2.66 g/cm³ respectivamente, alcanzando de esta forma el 100 % de todas las muestras evaluadas y que cumplen con los parámetros establecidos por las normas cubanas, las que establece que para este tipo de roca la masa volumétrica debe de estar en 2.36 g/cm³ como promedio mínimo (Ver anexo 2).

- Determinación de la abrasión “Los Ángeles” (NC 188:2002)

Los resultados de la abrasión (tabla 2.4), realizada a las muestras compuestas tomadas de los duplicados de los 6 pozos de perforación para los grados A; B, C y D, demuestran que los valores oscilan entre 29.6 – 35 %, cumpliendo con lo establecido para fracciones de 19 – 25; 9.5 – 19; 4.75 – 9.5; 2.35 – 4.75 mm respectivamente, 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/cm^3 , entre otras especificaciones de calidad que este yacimiento lo cumple.

Tabla 2.4 Determinación de la abrasión Los Ángeles según testigo de perforación

No. de pozo	No. de muestras	Abrasión "Los Ángeles" (%)			
		40 – 20 mm	20 – 10 mm	10 – 5 mm	5 – 0mm
P – 5;6	1	31	38	37	35
P – 1;2;3;4;5;6	2	30	37	34	30
P – 1;2;3;4;5;6	3	28	30	34	30
Promedio		29,6	35	35	31

- **Resistencia a la compresión seca (NC 54-32: 85)**

Se tomaron los resultados de tres cilindros, resultaron poseer parámetros entre 436.9 – 461.6 kgf/cm^2 , lo que infiere que existe estabilidad en la resistencia de las rocas tomadas de los duplicados del testigo de perforación en el sector objeto de estudio.

Resistencia a la compresión saturada

Su comportamiento fue adecuado atendiendo al resultado de la resistencia seca comportándose en el orden de los 411.2 – 436.4 kgf/cm^2 respectivamente, lo que le ratifica el carácter de una roca que se comporta con una adecuada estabilidad en su resistencia y su posible uso en los diferentes objetos de obras para la construcción (Ver tabla 2.5).

Tabla 2.5 Resistencia a la compresión seco y saturado

No.	No. de Muestras	No. de pozo	Desde (m)	Hasta (m)	kg/cm ²	
					Seco	Saturado
1	1	5 – 6	0.00	12.00	461.6	411.2
2	2	1A – 2 – 3 – 4	0.00	18.00	444.8	436.4
		5 – 6	12.00	30.00		
3	3	1A – 2 – 3 – 4	18.00	39.00	436.9	419.6
		5 – 6	30.00	50.00		

- **Análisis granulométrico (NC 178:2002)**

Del análisis realizado a las muestras tecnológicas de laboratorio, se determinó que el 1.4 % de polvo, limos y arcillas que estas rocas contienen en las diferentes fracciones granulométricas como promedio, le confieren un uso aceptado en las diferentes actividades constructivas que requieren bajo contenido en su proceso de molienda, pudiéndose adecuar este proceso en caso de generarse un incremento de estas partículas para actividades que requieren este parámetro por debajo de 1 %, tales como el uso en cualquier tipo de capa, para base o fundamento de pavimento, entre otras (Ver tabla 2.6).

Tabla 2.6 Granulometría y porcentaje de polvo y arcilla

No	No de mtras	No. de pozo	Desde (m)	Hasta (m)	Fracción (%) 0 – 5 mm	Fracción (%) 5 – 10 mm	Fracción (%) 10 – 20 mm	Fracción (%) 20 – 40 mm	Arcillas y polvo (%)
1	1TN	5 – 6	0,00	12,00	13,6	44,4	20,3	21,8	1,2
2	2TN	1A – 2 – 3 – 4	0,00	18,00	23,5	46,6	13,9	16,0	1,4
		5 – 6	12,00	30,00					
3	3TN	1A – 2 – 3 – 4	18,00	39,00	31,3	49,6	10,8	8,3	1,8
		5 – 6	30,00	50,00					

Suma				68,4	140,6	45	46,1	4,4
Promedio				22,8	46,86	15	15,36	1,46

2.3.2 Características cualitativas de los productos finales

Las descripciones petrográficas realizadas mostraron un predominio de las calizas organógenas detríticas con variable grado de recristalización. Estas rocas están formadas por organismos fragmentos de organismos y fragmentos de rocas calcáreas, unidas todas por un cemento calcáreo, generalmente más recristalizado que los otros elementos de estas rocas, su estructura es organógena, pelitomorfa, criptocristalina, organógena - detrítica, y fragmentaria.

2.4 Capacidad anual de procesamiento de la planta

La capacidad anual de procesamiento de la planta es de 124 800 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 96,10 % de CaCO₃ y 1,4 % de material meteorizado y contenido de arcilla.

2.5 Esquema tecnológico

Sobre la base de los resultados de las investigaciones a la materia prima, las características tecnológicas de la maquinaria que es posible aplicar y, además, de la consulta de los datos de explotación de la planta Los Caliches donde se procesa 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 previo y trituración (Ver anexo 3).

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 y Clasificación de las materias primas

El todo uno proveniente del frente de cantera es conducido y depositado en la tolva de alimentación (1) por medios de camiones de volteo, de aquí el material pasa a un alimentador vibratorio (2) que permite separar la fracción 0-100 mm (estéril más pequeños y pedazos de rocas), los cuales son transportados por la cinta transportadora (3) a la zaranda vibratoria de tierra (4).

Operación tecnológica 2: Trituración del material alimentado

En la zaranda vibratoria de tierra (4) la fracción menor que la abertura 20 mm sale como estéril mediante el transportador (5) y es depositado en el piso tecnológico. Este estéril es comercializado como material de relleno, lo que contribuye a mejorar la eficiencia de la instalación, así como los indicadores económicos del centro.

El rajón libre de estéril, procedente del alimentador vibratorio 2, es alimentado a la trituradora de quijada (6) el cual machaca el rajón y lo envía mediante el transportador (7) al transportador (8).

La fracción mayor de 20 mm, resultante de la zaranda vibratoria de tierra 4, es conducida por el transportador (9) hasta el transportador (8).

Encima del transportador (8) se encuentra ubicado el recogedor de metales (19).

Descripción de la Etapa 2: Clasificación y Trituración secundaria

Operación tecnológica 3: Clasificación del material para obtener las fracciones 0-4.76 mm; 4,76-10 mm y 10-20 mm

El material procedente de la Etapa 1 en conjunto con el triturado por el remolador es descargado a la zaranda (10), la cual posee 3 paños (20, 10 y 4.76 mm), la fracción 0-4.76 mm es descargado al piso tecnológico mediante el transportador (11) como polvo de piedra, en este punto de descarga se encuentra ubicado un tubo vertical (20) el cual sirve para evitar el vuelo de las partículas más finas; la fracción 4.76-10 mm es descargada al piso tecnológico mediante el transportador (12), la fracción 10-20 mm es descargada al piso tecnológico mediante el transportador (13).

Operación tecnológica 4: Remolida de la fracción 20 mm que rechaza la zaranda 10

La fracción mayor de 20 mm, retenida en la zaranda 10 es conducida mediante el transportador (14) hasta la tolva (15), un alimentador vibrante (16) descarga esta fracción en el triturador de martillos (17) el producto resultante de esta remolida lo traslada el transportador (18) de nuevo al transportador (8) y de ahí a la criba (10).

2.6 Presa de agua y cola

El proceso tecnológico empleado 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 no es necesario el diseño de presas de agua y cola.

2.7 Régimen de trabajo y cálculo de la capacidad instalada

2.7.1 Régimen de trabajo

El régimen de trabajo de la planta (tabla 2.7) estará en correspondencia con el de la cantera, semana laboral de cinco días y un turno diario de ocho horas. El tiempo neto de funcionamiento de la maquinaria es de 260 días al año, debido a que no se trabajan sábados y domingos.

Tabla 2.7 Régimen de trabajo de la planta

Detalle	Cantidad
Días hábiles en el año (DHT)	260 días
Turnos por día (TD)	1 turno
Horas laborables por turnos (HLT)	8 h
Utilización del tiempo (UT)	85%
Horas efectivas por turnos (HET)	6,8 h
Horas efectivas por día (HED)	6,8 h

Horas efectivas anuales (HHA)	1768 h
-------------------------------	--------

2.7.2 Cálculo de la capacidad instalada

2.7.2.1 Cálculo del esquema de trituración

Se pretende calcular el esquema de fragmentación para la planta de preparación de áridos cuya productividad es de 336 960 t/año. El yacimiento se extrae a cielo abierto, se caracteriza por su dureza blanda, tiene una densidad de 2,70 t/m³, la humedad es de hasta 3 %.

Para realizar el cálculo y selección de equipamiento de preparación mecánica, se utiliza la metodología expuesta en Razumov et.al., (1982) y se elige el esquema de trituración tipo BA (figura 2.1) que reduce el mineral del $D_{\text{máx}} = 500$ mm hasta un valor de diámetro mínimo con un $d_{\text{máx}} = 20$ mm.

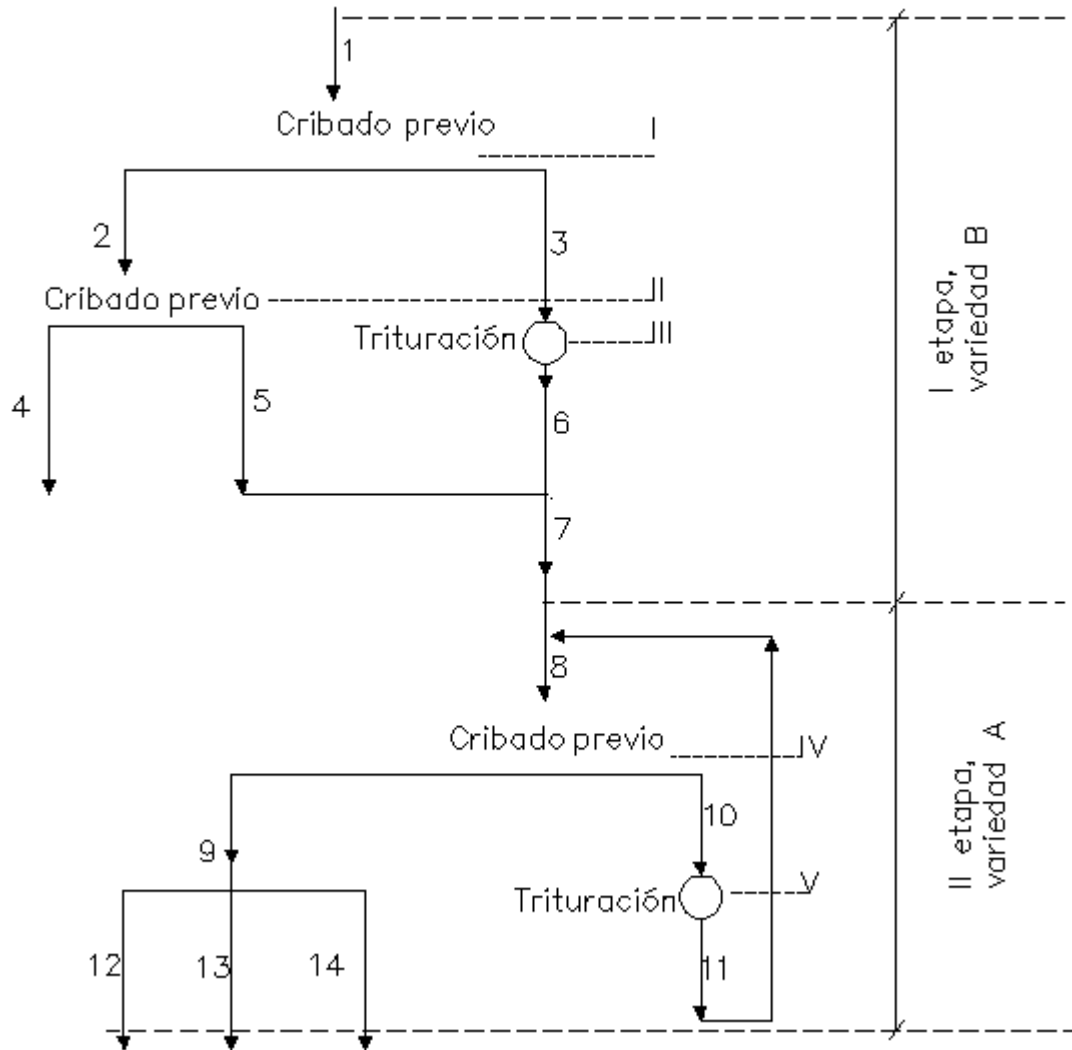


Figura 2.1. Esquema de procesamiento de minerales

- 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 5 días, un turno al día, el tiempo neto de funcionamiento de la maquinaria, 260 días al año.

$$Q_{qgh} = \frac{Q_{fa}}{N_a \cdot N_t \cdot N_h} = \frac{336960}{260 \cdot 1 \cdot 8} = 162,00 \text{ t/h} \quad (1)$$

Donde:

$Q_{q,g,h}$: 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

$$S = \frac{D_{max.}}{d_{max.}} = \frac{500}{20} = 25 mm \quad (2)$$

- Grado de trituración en etapas aisladas

$$\begin{aligned} S &= s_1 \cdot s_2 \\ S &= s_1 = s_2 \\ S &= S_m^2 \\ S_m &= \sqrt[2]{S} = \sqrt[2]{25} = 5 mm \end{aligned} \quad (3)$$

Donde:

S_m : grado medio de trituración en una etapa.

Con el ciclo cerrado en la segunda etapa, el grado de trituración en la primera etapa debe ser algo menor que S_m , mientras que en la segunda etapa debe ser algo mayor que S_m . Por este motivo, para la primera etapa de trituración tomamos, aproximadamente: $s_1 = 4 mm$

$$\text{Entonces, } s_2 = \frac{S}{s_1} = \frac{25}{4} = 6,25 mm$$

- Grosor máximo convencional de los productos después de etapas aisladas de trituración

$$\begin{aligned} D_7 &= \frac{D_1}{s_1} = \frac{500}{4} = 125 mm \\ D_9 &= \frac{D_1}{s_1 s_2} = \frac{500}{4 \cdot 6,25} = 20 mm \end{aligned} \quad (4)$$

- Ancho de las bocas de salida de las trituradoras de la primera etapa de trituración (i_{III})

El valor de las características tipo del grosor de los productos quebrantados (z_n), se determina de acuerdo a las características tipo de quebrantadoras para cada etapa, por lo que para los productos quebrantados en trituradoras de mandíbulas $z_{III} = 1,3$.

$$i_{III} = \frac{D_7}{z_{III}} = \frac{125}{1,3} = 96,15 \approx 100mm$$
$$D_7 = i_{III} \cdot z_{III} = 130mm \quad (5)$$

- 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 un poco cargada, la dimensión de los orificios se toma igual o un poco mayor que el ancho de las bocas de salida de las trituradoras para cada etapa. Según los datos prácticos, la correlación entre las dimensiones de los orificios de las cribas y el ancho de la boca de salida de las trituradoras para gruesos es aproximadamente igual a uno.

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 que se está calculando, se toma:

$$a_I = i_{III} = 100mm$$
$$E_I^{-a} = 70\%$$
$$a_{II} = 20mm$$
$$E_{II}^{-a} = 70\% \quad (6)$$

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.

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

$$\begin{aligned}a_{IV} &= 20 \text{ mm} \\ i_V &= \frac{a_{IV}}{2} = 10 \text{ mm} \\ E_{IV}^{-a} &= 85 \% \end{aligned} \tag{7}$$

- 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 10, es necesario fijar las salidas aproximadas de los productos que ingresan a las operaciones de quebrantadura en función de la dureza de las rocas a quebrantar (γ_n).

$$\begin{aligned}\gamma_3 &= 75 \% \\ \gamma_{10} &= 50 \%\end{aligned}$$

La masa de producto γ_{10} se tomó basada en experiencias prácticas en el procesamiento de áridos con propiedades y condiciones similares a la materia prima estudiada.

Determinación la masa del producto

$$\begin{aligned}Q_3 &= Q_1 \gamma_3 = 162,00 \cdot 0,75 = 121,50 \text{ t/h} = 45,00 \text{ m}^3 / \text{h} \\ Q_{10} &= Q_1 \gamma_{10} = 162,00 \cdot 0,50 = 80 \text{ t/h} = 30,00 \text{ m}^3 / \text{h} \end{aligned} \tag{8}$$

Elección de la trituradora

En la tabla 2.8 se muestran los requisitos que deben satisfacer las trituradoras, mientras que en la tabla 2.9 se ofrecen las características tecnológicas de las trituradoras elegidas.

Tabla 2.8 Requisitos que debe satisfacer la trituradora

Índice		Primera Etapa	Segunda Etapa
Grosor de los trozos mayores en la alimentación, mm		500	130
Ancho de la boca de salida, mm		100	10
Capacidad	t/h	121,50	80
	m ³ /h	45,00	30

Tabla 2.9 Características tecnológicas de las trituradoras elegidas

Triturador primario modelo BP 900/600		Triturador MIL 1000	
Primera etapa		Segunda etapa	
Parámetros	Valores	Parámetros	Valores
Dimensiones de boca	900x600 mm	Cantidad de martillos	12
Ajuste mínimo	60 mm	Número de filas de martillos	3
Ajuste máximo	135 mm	Máxima granulometría admisible	130 mm
Producción (reg. 60) (reg. 135)	68 t/h ; 173 t/h	Producción máxima	80 t/h
Potencia instalada	75 kW	Potencia instalada	123 kW
Peso total	11700 kg	Ancho de la boca de salida	10 mm

El rendimiento de la trituradora de mandíbulas para materiales medios con una boca de salida de 135 mm se ha tomado de 173 t/h. El rendimiento de la trituradora para finos es el producto del coeficiente de grosor para un ciclo cerrado ($k_c=1,3$) y el rendimiento de la quebrantadora en un ciclo abierto ($Q=80$ t/h).

$$Q_{cc} = k_c \cdot Q$$

$$Q_{cc} = 1,3 \cdot 80$$

$$Q_{cc} = 104 \text{ t/h}$$

(9)

Coeficientes de carga de las trituradoras

El coeficiente de carga de la trituradora es el cociente del rendimiento requerido de la quebrantadora y el rendimiento según las características tecnológicas de la trituradora escogida.

$$\begin{aligned} k_1 &= \frac{121,50}{173} = 0,70 \\ k_2 &= \frac{81}{104} = 0,78 \end{aligned} \tag{10}$$

Los coeficientes de carga de las trituradoras se encuentran dentro del rango aceptado donde la trituradora no se encuentra muy cargada y tampoco tiene una gran 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.

Cálculo precisado del esquema de la trituración

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

Se construyen las características para el mineral de grosor medio, con el tamaño prefijado del mayor trozo igual a 500 mm. Se establece que al trozo máximo corresponden 1,3 unidades trazadas por el eje de abscisas y, por lo tanto, a la unidad corresponderá la dimensión absoluta $500:1,3 = 384,6$ mm.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.11, mientras que las características de grosor del material inicial y de la descarga de la trituradora de mandíbula se representan en la figura 2.2 y 2.3 respectivamente.

Tabla 2.10 Reducción de la característica tipo a fin de obtener la característica de la materia prima inicial y del producto de una trituradora de mandíbulas

Según la característica tipo		Materia prima inicial	Producto de la trituradora mandíbulas
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	80	76,9	20,0
0,4	60	153,8	40,0
0,8	30	307,7	80,0
1	18	384,6	100,0
1,2	10	461,5	120,0
1,3	5	500,0	130,0

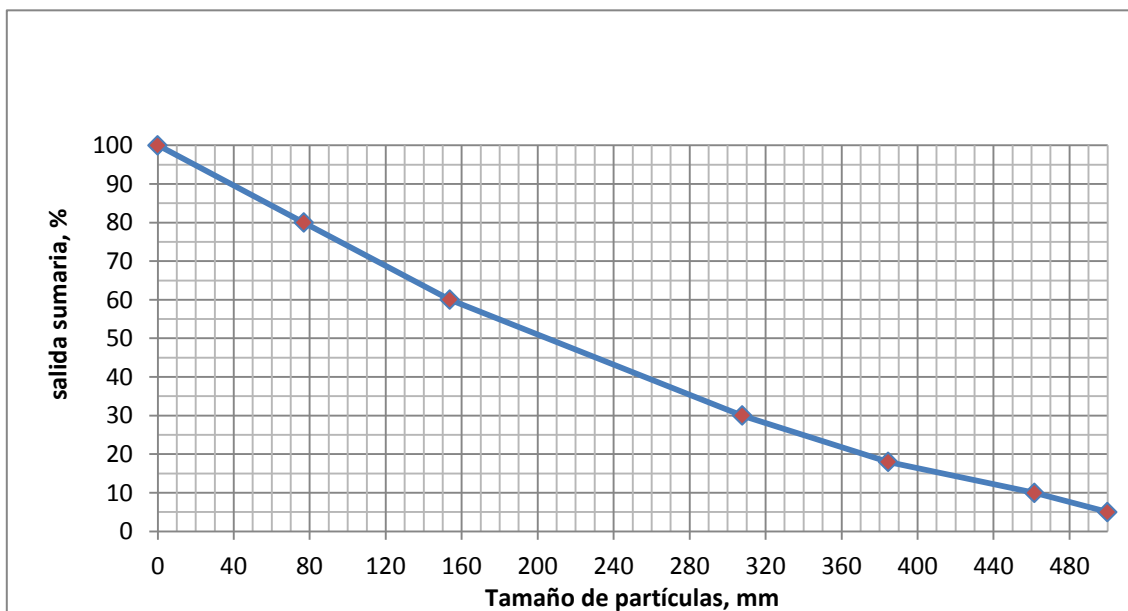


Figura 2.2. Características de tamaño de la materia prima inicial.

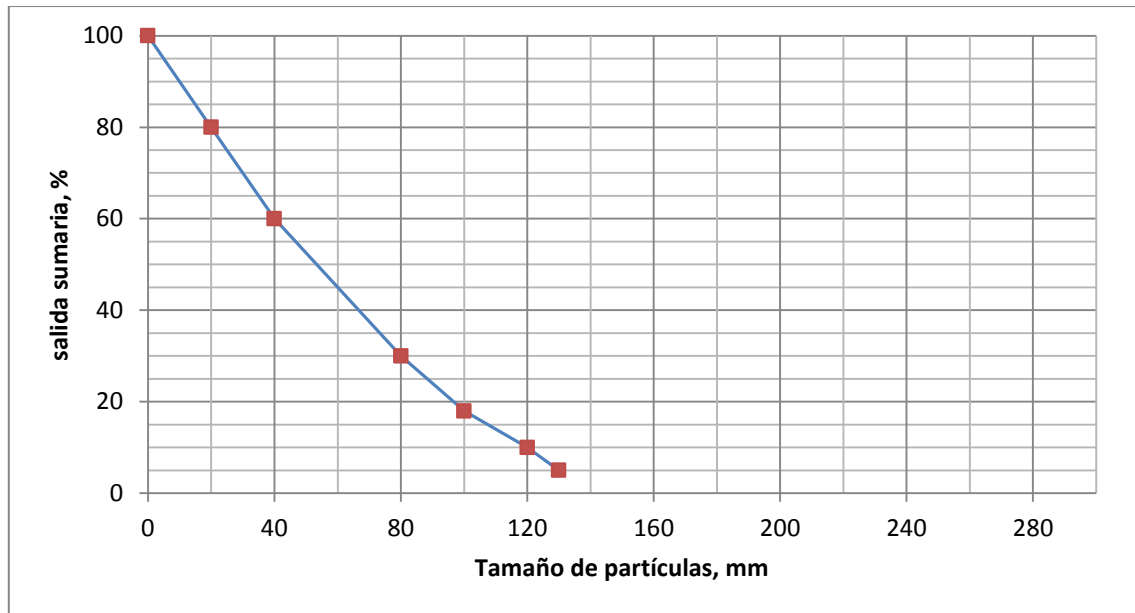


Figura 2.3. Características de tamaño de la descarga de la trituradora de mandíbula.

- Cálculo de la primera etapa de trituración

$$\beta_1^{-100} = 100 - \beta_1^{+100} = 100 - 74 = 26\% = 0,26$$

$$\beta_2^{-20} = \beta_1^{-20} = 100 - \beta_1^{+20} = 100 - 95 = 5\% = 0,05$$

El valor de β_1^{+100} y β_2^{-20} se toma del gráfico aducido a la figura 2.2.

$$Q_2 = Q_1 \beta_1^{-a} E_I^{-a} = Q_1 \beta_1^{-100} E_I^{-85} = 162,00 \cdot 0,26 \cdot 0,70 = 29,48 t/h$$

$$Q_3 = Q_6 = Q_1 - Q_2 = 162,00 - 29,48 = 132,50 t/h$$

$$Q_4 = Q_2 \beta_2^{-a} E_{II}^{-a} = Q_2 \beta_2^{-20} E_{II}^{-20} = 29,48 \cdot 0,05 \cdot 0,70 = 1,03 t/h$$

$$Q_5 = Q_2 - Q_4 = 29,48 - 1,03 = 28,45 t/h \quad (11)$$

- Cálculo de la segunda etapa de trituración

En la operación de la criba IV se tamiza la clase 20-0 mm, la dimensión de la boca de salida de la trituradora de la primera etapa de trituración es de $i_{III} = 90$ mm. Por esta causa, para el cálculo de la segunda etapa se determina en el producto 7 el contenido de la clase -90 mm y -20 mm.

Para la construcción de las características tipo del mineral de tenacidad blanda para la trituradora KDM2200 con boca de salida de 10 mm se toma un trozo máximo de 27 mm.

En tabla 2.11 se muestra la escala de grosores para el producto de la trituradora, mientras que las características de tamaño de la descarga de dicha trituradora se representan en la figura 2.4.

Tabla 2.11 Reducción de las características tipos para la trituradora de la segunda etapa de trituración

Según la característica tipo		Producto de la KDM2200, con $i=10$
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 ($d_{95}=27$ mm)
0	100	0
0,1	95	2,7
0,2	82	5,4
0,4	60	10,8
0,6	30	16,2
0,8	15	21,6
1	5	27,0

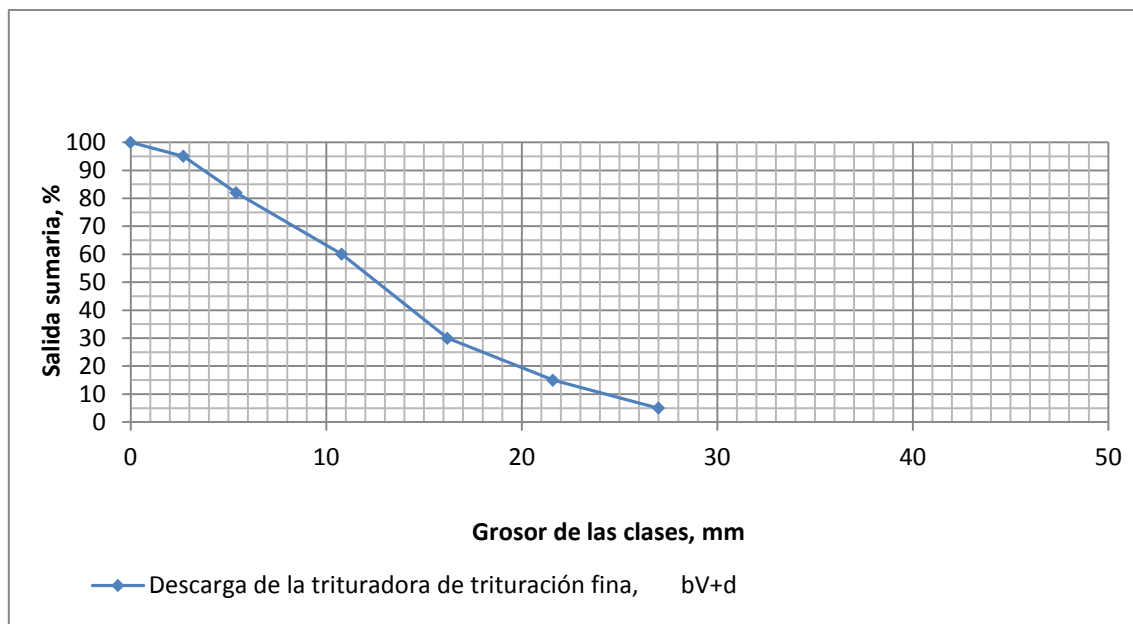


Figura 2.4. Características de tamaño de la descarga de las trituradoras de la segunda etapa de trituración.

$$\begin{aligned}\beta_7^{-d} &= \beta_1^{-d} + \beta_1^i b_{III}^{-d} \\ \beta_7^{-20} &= \beta_5^{-20} + \beta_6^{+100} b_{III}^{-20} = 0.05 + 0.74 \cdot 0.20 = 0.20 = 20\% \\ \beta_5^{-20} &= 100 - \beta_5^{+20} = 100 - 95 = 5\% = 0.05 \\ \beta_6^{+100} &= 74\% = 0.74 \\ b_{III}^{-20} &= 100 - b_{III}^{+20} = 100 - 80 = 20\% = 0.20 \\ \beta_7^{+d} &= \beta_7^{+20} = 1 - \beta_7^{-20} = 1 - 0.20 = 0.80 \\ b_V^{-20} &= 100 - b_V^{+20} = 100 - 20 = 80\% = 0.80\end{aligned}$$

El valor de β_5^{+20} y β_6^{+100} se ha tomado en el gráfico aducido en la figura 2.2.

El valor de b_{III}^{+20} se ha tomado en el gráfico aducido en la figura 2.3.

El valor de b_V^{+20} se ha tomado en el gráfico aducido en la figura 2.4.

$$\begin{aligned}Q_7 &= Q_5 + Q_6 = 28,45 + 132,52 = 160,97 t/h \\ Q_8 &= Q_7 \left(\frac{1}{E_{IV}^{-a}} + \frac{\beta_7^{+a}}{b_V^{-a}} \right) = Q_7 \left(\frac{1}{E_{IV}^{-20}} + \frac{\beta_7^{+20}}{b_V^{-20}} \right) = 160,97 \cdot \left(\frac{1}{0,85} + \frac{0,80}{0.80} \right) = 229,62 t/h \\ Q_{10} &= Q_{11} = Q_8 - Q_7 = 228,92 - 160,48 = 68,65 t/h\end{aligned}\tag{12}$$

Definición de los coeficientes de carga de las quebrantadoras de acuerdo con los resultados del cálculo.

$$\begin{aligned}k_1 &= \frac{Q_3}{Q_{queb}} = \frac{132,52}{173} = 0,76 \\ k_2 &= \frac{Q_{10}}{Q_{queb}} = \frac{68,65}{104} = 0,66\end{aligned}\tag{13}$$

El coeficiente de carga de la trituradora de mandíbula se encuentra dentro del rango aceptado donde la trituradora no se encuentra muy cargada y tampoco tiene una gran reserva de rendimiento.

El coeficiente de carga de la trituradora de martillo muestra que esta posee algo de reserva con respecto a la masa que se calcula, esta reserva garantiza que si se hace necesario aumentar la productividad de la planta, esta trituradora puede asimilar hasta un 30 % más de la capacidad instalada.

Balance material de la planta

En la tabla 2.12 se muestra el balance material de la planta, que permite comprobar la correspondencia entre el esquema de la planta y los valores obtenidos.

Tabla 2.12 Balance material de la planta

Ecuaciones de balance	Procesos	Flujo	Cantidad (t/h)
$Q_1= Q_2 +Q_3$	Entrada	Q_1	162
		Q_2	29,48
$Q_2=Q_4+Q_5$		Q_3	132,52
		Q_8	229,62
$Q_3=Q_6$		Q_{10}	68,65
$Q_8=Q_7+Q_{11}$	Salida	Q_4	1,03
		Q_5	28,45
$Q_{10}=Q_{11}$		Q_6	132,52
		Q_7	160,97
$Q_7=Q_5+Q_6$		Q_{11}	68,65

2.7.2.2 Cálculo de la potencia de la trituradora

La metodología expuesta en Razumov et.al., (1982) no contempla el cálculo de la potencia de las trituradoras como uno de los requerimientos a cumplir para su selección, aspecto este, que en la actualidad es primordial, por el gran consumo energético que estos suponen.

Asimismo los datos de la productividad de las trituradoras ofrecidos en los catálogos, en los cuales nos basamos para su selección han sido determinados para minerales de dureza media con una densidad aparente de $1,6 \text{ t/m}^3$; puesto que la materia prima que se procesará es de dureza blanda, tiene una densidad de $2,7 \text{ t/m}^3$ y su humedad es de 4 % se hace necesario corregir la productividad de catálogo.

- Cálculo de la potencia de la trituradora de la primera etapa

Capacidad de la trituradora

$$\begin{aligned}
 Q_t &= Q_c K_\rho K_d K_w K_{ten} \\
 Q_t &= 150 \cdot 1 \cdot 0,93 \cdot 1 \cdot 1,55 = 216,33 t/h \\
 K_{ten} &= 1 - 0,05 \cdot (f - 14) = 1,55 \\
 K_\rho &= \frac{\rho}{2,7} = \frac{2,7}{2,7} = 1 \\
 K_d &= 1 + \left(0,8 - \frac{d_n}{B} \right) = 1 + \left(0,8 - \frac{500}{575} \right) = 0,93 \\
 K_w &= 1
 \end{aligned} \tag{14}$$

Donde:

Q_c : Capacidad de catálogo, t/h

K_σ : Coeficiente de corrección de la dureza

K_ρ : Coeficiente de corrección de la densidad

K_d : Coeficiente de corrección del tamaño

KW : Coeficiente de corrección de la humedad

B : Ancho de la boca de entrada de la trituradora, es de 10-15 % mayor que los trozos más grandes en la alimentación

d_n : Grosor nominal de alimentación a la trituradora

Energía específica de la trituradora, kWh/t

$$W = 7,5 \cdot W_i \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right) = 7,5 \cdot 14 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{100000}} - \frac{1}{\sqrt{345000}} \right) = 0,1533 kWh/t \tag{15}$$

Donde:

W_i : Índice de Bond, kWh/t.

D_{80} y d_{80} : Dimensiones de los agujero de los tamices por los que pasa el 80% del material, respectivamente para la alimentación inicial y el producto de la trituradora, (μm); $D_{80} = (0,5-0,67) B$

Potencia del motor de la trituradora

$$N_t = Q_t W = 216 \cdot 0,1533 = 33,16 \text{ kW} \quad (16)$$

- Cálculo de la potencia de la trituradora de la segunda etapa

Capacidad de la trituradora

$$Q_t = Q_c K_\rho K_d K_w K_{ten}$$

$$Q_t = 80 \cdot 1 \cdot 0,93 \cdot 1 \cdot 1,55 = 115,37 \text{ t/h}$$

$$K_{ten} = 1 - 0,05 \cdot (f - 14) = 1,55$$

$$K_\rho = \frac{\rho}{2,7} = \frac{2,7}{2,7} = 1 \quad (17)$$

$$K_d = 1 + \left(0,8 - \frac{d_n}{B} \right) = 1 + \left(0,8 - \frac{130}{149,50} \right) = 0,93$$

$$K_w = 1$$

- Energía específica de la trituradora, kWh/t.

$$W = 7,5 W_i \left(\frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right) = 7,5 \cdot 14 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{10000}} - \frac{1}{\sqrt{89700}} \right) = 0,6994 \text{ kWh/t} \quad (18)$$

- Potencia del motor de la trituradora

$$N_t = Q_t W = 115,37 \cdot 0,6994 = 80,69 \text{ kW} \quad (19)$$

2.7.2.3 Elección de las cribas

En Razumov et.al., (1982), la metodología presentada para el cálculo y elección de las cribas se emplea para menas metalíferas, para el caso objeto de estudio los valores que se obtienen al aplicar esta metodología no se corresponden con la práctica. Por lo que para la elección de las cribas de 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 2.13 se muestran dichas capacidades para cada operación.

Tabla 2.13 Capacidad alimentada a las cribas

Operaciones de cribado	Capacidad alimentada (t/h)
I (Primera Etapa)	162,00
II (Primera Etapa)	29,48
IV (Segunda Etapa)	229,62

En las tablas 2.14 y 2.15 se muestran las características tecnológicas de las cribas elegidas para cada etapa.

Tabla 2.14 Características tecnológicas de las cribas de la primera etapa

Primera etapa (Operación I)		Primera etapa (Operación II)	
Precribador vibratorio modelo AVC		Vaglio vibrante inclinado W 300/2	
Parámetros	Valores	Parámetros	Valores
Ancho útil de alimentación	1070 mm	Dimensión piano 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 2.15 Características tecnológicas de la criba de la segunda etapa

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

2.8 Fuerza de trabajo

Este 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 35 trabajadores. En la tabla 2.16 se muestra la composición de la fuerza de trabajo de la instalación.

Tabla 2.16 Fuerza de trabajo de la planta

Ocupación laboral	Grupo escala	Categoría	Nivel escolar	Cantidad
Jefe de taller	XI	C	NS	1
Técnico A en gestión económica	VIII	T	TM	1
Técnico A en gestión recursos humanos	VIII	T	NMS	1
Técnico en normalización	VIII	T	NMS	1
Técnico en gestión comercial	VIII	T	NMS	2
Técnico A del transporte automotor	VIII	T	NMS	1
Chofer B	VI	O	NM	2
Dependiente de almacén	V	S	NM	1
Chofer D	IV	O	NM	1
Auxiliar de limpieza	I	S	EP	1
Mecánico A automotor	VIII	O	NM	1
Pailero "A"	VIII	O	NM	2
Soldador "A"	VII	O	NM	1
Engrasador	III	O	CH	1
SUB TOTAL				5
Brigada de áridos No. 1				
Operador A grúa de izaje y movimiento de tierra	IX	O	NM	1
Mecánico "B" Equipo Industrial de Construcción	VII	O	NM	1
Chofer A	VII	O	NM	2
Operador A grúa de izaje y movimiento de tierra	VII	O	CH	1
Operador A cargador frontal	VI	O	CH	1
Operador C buldócer frontal	VI	O	NM	1
Electricista "B" de Mantenimiento	VI	O	OC/TM	1
Operador "C" de Molinos	IV	O	CH	2
Ayudante Integral de la IMC	II	O	CH	1
SUB TOTAL				11
Jefe de Grupo de Seguridad Interna	XI	S	NM	1
Serenos	II	S	CH	6
SUB TOTAL				7
TOTAL				35

Para cada una de las diferentes áreas se llevará a cabo el proceso de selección según el perfil requerido para el cargo.

2.9 Equipamiento

Dentro de 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 material.

A continuación, se describen algunas características de estos equipos:

1. Planta de trituración y selección: Al interior del equipo son presentes maquinarias que pueden utilizarse en diferentes grupos (BAIONI, 2016).

Cintas transportadoras modelo NT (Tabla 2.17): Las cintas transportadoras presentes son de diferentes larguras y profundidad, pero la estructura y el funcionamiento son iguales. Cada cinta transportadora vigente en la instalación se compone principalmente de: bastidor de soporte, rodillos de vario tipo, lámina, y grupo motor (Ver anexo 4).

Tabla 2.17 Características tecnológicas de las cintas transportadoras modelo NT

Modelo	Ancho de banda (mm)	Ancho de torre (mm)	Velocidad (m/s)	Caudal máximo a 18° t/h	Clasificación por tamaño de alim. Max (mm)
NT 50/21	500	870	1,75	137	125
NT 65/10	650	1020	2,00	310	170
NT 65/15	650	1020	2,00	310	170
NT 65/22	650	1020	2,00	310	170
NT 80/26	800	1210	2,00	490	225
NT 80/6	800	1210	2,00	490	225

Precribador vibratorio modelo AVC (Tabla 2.18): 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 y de contraste (Ver anexo 5).

Tabla 2.18 Características tecnológicas del precibador 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 BP 900/600 (Tabla 2.19): Se utiliza para la trituración primaria de cualquier tipo de material aluvial o de cantera, aunque duro y abrasivo; son máquinas particularmente robustas, fiables y seguras, está conformado por una carcasa, cámara de trituración y árbol excéntrico con mandíbula móvil (Ver anexo 6).

Tabla 2.19 Características tecnológicas del triturador primario modelo BP 900/600

Parámetros	Valores
Dimensiones de la boca	900x600 mm
Ajuste mínimo	60 mm
Ajuste máximo	135 mm
Producción (reg. 60) (reg. 135)	68 t/h circa; 137 t/h circa
Potencia instalada	75 kW

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 es que 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 (Ver anexo 7).

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

Parámetros	WS 300/2	WS 500/3
Dimensión piano 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

Triturador MIL 1000 (tabla 2.21): Consta de un rotor con 3 martillos fijos removibles y un sistema de bloqueo especial que garantiza una presión constante y continua sobre las superficies maquinadas de los martillos y forma prácticamente un único cuerpo con el rotor, esto le permite trabajar con materiales duros y abrasivos. Los martillos pueden ser rotados de manera tal que es posible aprovechar al máximo las cuatro superficies de impacto (Ver anexo 8).

Tabla 2.21 Características tecnológicas triturador MIL 1000

Parámetros	Valores
Cantidad de martillos	12
Número de filas de martillos	3
Máxima granulometría admisible para la alimentación	130 mm
Producción máxima	80 t/h
Potencia instalada	123 Kw
Peso de la máquina (sin motor)	7900 kg
Cantidad de revoluciones	880 R/min

Alimentador vibratorio AV 85 (Tabla 2.22): Es un dispositivo apto para obtener una alimentación constante y regulable del material inerte; al ser colocado antes de la máquina de trituración, permite que dicha máquina trabaje siempre con un régimen constante. Es indicado para material de tipo grava, de naturaleza aluvional o bien sometido a trituración; está construido esencialmente por una canaleta de chapa suspendida a un bastidor y fijada mediante tacos de goma antivibratorios y es movida mediante dos vibradores mecánicos con excéntrico. La regulación de la alimentación se obtiene accionando sobre las masas excéntricas de los motovibradores (Ver anexo 9).

Tabla 2.22 Características tecnológicas del alimentador vibratorio AV 85

Parámetros	Valores
Dimensiones de la boca de alimentación	800x400 mm
Tamaño de alimentación máxima	240 mm
Potencia necesaria	2x 900 W
Caudal máximo	166 t/h
Peso	600kg

2. Cargador frontal marca LIUGONG modelo CLG - 877 - 3 (Tabla 2.23): Son empleados para el movimiento interno o reacomodo del material ya procesado y para el proceso de carga a los camiones para su posterior despacho a las obras (Ver anexo 10).

Tabla 2.23 Características tecnológicas del cargador frontal marca LIUGONG modelo CLG - 877 - 3

Parámetros	Unidad de medida	Valor
Largo	m	7,60
Ancho	m	2,90
Volumen del cubo	m ³	4,0
Consumo de combustible	L/h	25
Disponibilidad mecánica	%	70

3. Camión marca SINOTRUK modelo ZZ5707S3840AJ (Tabla 2.24): Se utilizan para transportar la materia prima desde el lugar de extracción a la planta de procesamiento (Ver anexo 11).

Tabla 2.24 Características tecnológicas del camión marca SINOTRUK modelo ZZ5707S3840AJ

Parámetros	Unidad de medida	Valor
Capacidad de carga	m ³	15
Tipo de combustible	Diésel	-
Consumo de combustible	L/h	10
Pendiente máxima superable	%	10
Ancho	m	3,30
Longitud	m	8,60
Radio de giro	m	12
Disponibilidad mecánica	%	70
Velocidad del camión cargado	km/h	30
Velocidad del camión vacío	km/h	20

4. Grúa de izaje marca DIMACRO (Tabla 2.25): Se emplea para el montaje y desmontaje de los elementos constructivos de la planta cuando se requiera por cuestiones de mantenimiento o averías (Ver anexo12).

Tabla 2.25 Características tecnológicas de la grúa de izaje DIMACRO

Parámetros	Valor
Capacidad	300 kg
Giro	360 ^o
Potencia	5 Hp
Tipo de movimiento	vertical
Motor	Eléctrico –trifásico

5. Buldócer frontal marca XCMG modelo TY - 230 (Tabla 2.26): Se empleara en excavaciones, vertido y extendido de materiales, desmontes roturación de terrenos y otros trabajos análogos y como máquina auxiliar de casi todos los demás equipos de movimiento de tierra (Ver anexo13).

Tabla 2.26 Características tecnológicas del buldócer frontal marca XCMG modelo TY - 230

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

2.10 Materiales

Los insumos con los que se cuenta en la planta de procesamiento se muestran en la tabla 2.27.

Tabla 2.27 Materiales que se utilizarán en la planta de procesamiento

Materiales	Unidad de medida	Consumo
- Grasas lubricantes	kg/m ³	3,321
- Aceros en barras	t/m ³	0,0142
- Oxígeno	m ³ /m ³	1,479
- Acetileno	m ³ /m ³	0,094

- Electrodo para soldar	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
- Correas transportadoras	m/m ³	2,862
- 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
- Energía eléctrica	Wh/m ³	4500
- Combustible diesel	t/m ³	2330
- Equipos de protección e higiene	\$/ m ³	31,3188

2.11 Control del proceso

El control del proceso, a partir del sometimiento continuo de los áridos a ensayos de laboratorio, permite determinar si sus propiedades cumplen con los requisitos de las aplicaciones en los que se van a emplear, lo que implica que los procesos de fabricación estén perfectamente controlados en sus diferentes etapas y por ende se dispone de productos de calidad.

Punto de inspección 1: control de la calidad de la materia prima proveniente del frente de cantera depositada en la tolva de alimentación, teniendo en cuenta que el tamaño máximo del rajón a alimentar la planta es de 500 mm. Se controla visualmente sobre la cama del camión y la frecuencia es por viaje.

Punto de inspección 2: control de la abertura de trabajo de la trituradora de quijada, mediante el método de medición directa, utilizando el pie de rey o la cinta métrica, teniendo en cuenta que la medición se realiza de muela a nivela tomando de cresta a valle y viceversa; se controla semanalmente.

Punto de inspección 3: controlar el ajuste de los pernos de las cintas transportadoras, el estado de desgaste de la banda y su correcto posicionamiento, el estado de la goma y que no haya pérdidas de aceite, asegurarse que el rodillo motor

esté perpendicular a la banda y verificar la tensión de la cinta. Este control se realizará semanal.

Punto de inspección 4: el control del caudal en el alimentador vibratorio se efectúa actuando directamente en los grupos motovibradores, su inspección es diaria.

Punto de inspección 5: control de la abertura de trabajo de la trituradora de impacto y el desgaste de los martillos mediante el método de medición directa utilizando el pie de rey o la cinta métrica. Se controla semanalmente.

Punto de inspección 6, 7 y 8: controles de la calidad del producto terminado polvo de piedra fracción (0- 4,76 mm), granito fracción (4,76 -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. SEGURIDAD INDUSTRIAL, MEDIO AMBIENTE Y VALORACIÓN ECONÓMICA

3.1. Introducción

Los estudios e investigaciones realizadas en relación con la explotación a cielo abierto de yacimientos y canteras han permitido conocer que en dichas actividades existen condiciones que pueden causar accidentes, los cuales, infieren un coste humano y económico para el accidentado, la empresa y la sociedad, por lo que hay que prestar exclusiva importancia a su prevención; por esto será necesaria la formación previa del personal para que tenga conocimiento de los riesgos a los que se presentan y tomen conciencia de su prevención.

La necesidad de explotación de los recursos minerales por el país como vía de llevar a cabo su desarrollo económico, 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, para satisfacer las necesidades del desarrollo en función del bien común de la Nación y velar al mismo tiempo por su Patrimonio Minero (Serrano, 2015).

En este capítulo 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.

3.2 Seguridad Industrial

3.2.1 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. La planta deberá estar instalada en un área adecuada, la cual deberá ser preparada por el utilizador en base a la documentación suministrada por el fabricante.
3. Revisiones de diseño y construcción antes de la puesta en marcha de la planta.

4. 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.
5. 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.
6. Señales y rótulos de seguridad.
7. Limpieza y organización del área de trabajo.
8. Se prohíbe obstruir las áreas de trabajo o las vías de acceso a estas, con rocas u objetos que dificulten el transito libre del personal y equipos.
9. Se prohíbe la permanencia de personas ajenas al trabajo en las plataformas de trabajo.
10. Desarrollar exámenes rigurosos de todos los equipos y operaciones para comprobar la funcionalidad de los mecanismos de seguridad y valorar los riesgos potenciales.
11. 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.
12. Colocación de cubiertas de protección en máquinas.
13. Conectar a tierra las líneas y equipos para impedir chispas inducidas por la electricidad estática. Marcar todas las líneas y equipos eléctricos.
14. Las reparaciones, el desarmado de la cubierta de protección y los paneles de protección se pueden efectuar solamente con la máquina detenida y después de haber verificado que una persona calificada y designada al efecto, haya deshabilitado el dispositivo de puesta en marcha. La puesta en marcha debe ser efectuada luego de haber vuelto a instalar las protecciones y únicamente por orden del personal responsable.
15. Posteriormente de desarrollar los trabajos de reparación, realizar las comprobaciones pertinentes antes de restaurar los servicios. Mantener al día el archivo de dichos ciegos y su ubicación.

16. Durante la realización de todos aquellos trabajos que sobrelleven un riesgo de proyección de partículas, se implantará la exigencia de uso de gafas de seguridad.
17. En todos aquellos trabajos que se desarrollan en entornos con niveles de ruidos superiores a los permitidos, se deberán utilizar protectores auditivos.
18. Adecuada iluminación en las áreas de trabajo.
19. Los camiones al llegar a la tolva de alimentación tienen que esperar la señal sonora para depositar la materia prima.
20. Cuando la concentración de polvo en el medio ambiente exceda los límites permisibles se rociará el área de trabajo con agua.

3.2.2 Plan de mantenimiento

Los planes de mantenimiento buscan conservar una línea de producción en condiciones óptimas de trabajo, el mantenimiento se considera que va entrelazado con la producción debido a que, según el estado de las máquinas que componen la línea de producción así mismo será la cantidad de producto elaborado. La causa de esto es que el mantenimiento reduce las fallas y por ende las paradas imprevistas del proceso.

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.

Mantenimiento y ajustes de tipo habitual

Limpieza de la máquina y los dispositivos de seguridad:

- Dispositivos de seguridad
- Limpieza de la máquina, escaleras, plataformas y pasillos

- Limpiar todos los engrasadores y sus tapas

Paneles de control y cuadro de comandos:

- Verificar el funcionamiento de las lámparas
- Verificar el funcionamiento de todos los pulsadores, indicadores, selectores de modo de funcionamiento presentes en el grupo de comando

Precribador vibratorio serie AVC

- Controlar el ajuste de todos los pernos
- Lubricación
- Ajuste caudal

Cintas transportadoras serie NT:

- Controlar el ajuste de los pernos, el estado de desgaste de la banda y su correcto posicionamiento, el estado de la goma y que no haya pérdidas de aceite, asegurarse que el rodillo motor este perpendicular a la banda
- Lubricación
- Verificar la tensión de la cinta

Machacadora de mandíbulas primarias mod. BP 900/600

- Lubricación
- Verificar el correcto tensionamiento del cinghie.

Trituradora MIL 1000 SP

- Lubricación
- Sustitución: Verificar en forma periódica el desgaste de las gomas de protección colocadas coincidiendo con la canaleta de alimentación.
- Verificar las guías de fijación de las cuñas.

Alimentador Vibratorio serie AV 85:

- Soldaduras
- Ajuste del caudal
- Lubricación

Mantenimiento extraordinario

Machacadora de mandíbulas primaria mod. BP 900/600:

- Sustitución armazones y mandíbulas
- Ajuste distancia mandíbulas
- Sustitución rodillera/cojinete de empuje

Precribadores vibratorios serie AVC por:

- Variación amplitud vibraciones
- Sustitución blindajes

Trituradora MIL 1000 SP:

- Inversión, reemplazo y balanceo de los martillos
- Ajuste de las paredes de impacto
- Sustitución de los barrotes y el blindaje porta barrotes
- Reemplazo de los blindajes
- Sustitución/ajuste de las correas de transmisión

Alimentador AV 85:

- Reemplazo de los tapones antivibratorios
- Reemplazo de los blindajes

Cintas transportadoras serie NT:

- Ajuste de los pernos
- Desgaste de la banda

3.2.3 Residuales

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.

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 el predio 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 toxico-inflamable, al igual que estopas, filtros y guantes impregnados de aceites y grasas. La empresa cuenta con un plan de entrega de residuos a CUPET mensualmente, lo que indica que no existe contaminación al medio en este sentido.

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

3.3 Medio Ambiente

3.3.1 Impacto ambiental producido por la actividad de procesamiento

Sobre el suelo

La eliminación directa del suelo, su ocupación por la creación de la planta, pérdida de la calidad o 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. Estas alteraciones son producto de las actividades: descarga, manipulación y procesamiento de la materia prima y almacenamiento del producto final.

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.

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, y el contraste cromático muy llamativo dentro del entorno.

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 (riberas, manchas arbustivas, etc.).

Sobre la flora

Eliminación de 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.

3.3.2 Medidas de mitigación

Medidas de mitigación

Las medidas mitigadoras propuestas incluyen:

1. Limitación de la superficie afectada a la estrictamente necesaria.
2. Implementar prácticas adecuadas de manejo de combustibles y lubricantes con el fin de evitar derrames, mantener programas de contingencias ante derrames.
3. Cumplimiento de las normas de almacenamiento de residuos peligrosos.
4. Realizar pantallas cortavientos para disminuir los efectos del viento en el suelo y así reducir la erosión.

5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Disminución de las alturas de caída libre de los materiales.
9. Cubierta de las cintas transportadoras, de áridos finos, expuestas a vientos dominantes, protección de los puntos de alimentación y de transferencia, y estudio de la posición y orientación del viento.
10. Roturación de pistas abandonadas y revegetación con especies arbustivas y herbáceas
11. Estudio previo del terreno para localizar este patrimonio y evitar ubicar explotaciones en zonas que le afecten.

3.4 Valoración económica del proyecto

Para la valoración económica de proyectos de procesamiento, los ingenieros han reconocido las ventajas de la recopilación de datos de costos, válidos, únicamente para una estimación rápida de los costos de los principales equipos y el costo capital de la planta (Mular et.al,1980), lo que dio como resultado la ecuación:

$$\text{Costo} = a(X)^b \quad (20)$$

Donde: X es parámetro del equipo, a y b son constantes.

Los índices de costo son proporciones utilizadas para estimar los precios actuales de equipos partiendo de precios obsoletos.

Posteriormente al cálculo del costo del equipo principal según la ecuación 20, se puede obtener el precio actualizado para el año que se desee si se tiene el índice de costo para este año, donde se puede utilizar la expresión:

$$\frac{Coste_{ahora}}{Coste_{pasado}} = \frac{Indice_{ahora}}{Indice_{pasado}} \quad (21)$$

Un índice de coste en el año X es el cociente entre un coste determinado en el tiempo X y el coste correspondiente a ese bien o servicio en un año de referencia. Se estima que tienen una precisión de $\pm 10\%$ cuando el periodo temporal es inferior a 6 años.

Varias instituciones publican sus índices, destacándose *Marshall and Swift (M&S) costindex*, que ofrece listados calculados para 47 sectores industriales diferentes, siendo en nuestro caso el índice M&S (Mine/Mill) el más interesante. Su año base es 1926 hasta 2011.

El inconveniente que pueden tener las expresiones 20 y 21 es que el cálculo se realiza dentro del rango de parámetros tabulados para cada equipo en específico, lo que demuestra que si el equipo difiere de estas características hay que recalcular nuevamente el costo, y esto puede ser a través de la fórmula de los seis o siete décimos:

$$\frac{Coste_2}{Coste_1} = \left[\frac{Parámetro_2}{Parámetro_1} \right]^{0,7} \quad (22)$$

De forma aproximada se ajusta el coste del equipo considerando algún parámetro representativo del equipo (masa, volumen, capacidad, dimensiones, área, potencia, etc.)

El exponente puede variar entre 0.6 y 0.7 en función del tipo de industria y el criterio del diseñador. Los parámetros más usuales son peso, tamaño o capacidad.

Las metodologías descritas anteriormente son de vital importancia para la estimación de costos de capital en las industrias minero metalúrgicas, sin embargo hoy en día existen compañías que se dedican a las ventas de equipamientos, donde solo se requiere de disponer los datos suficientes para la compra del equipo, tales como la potencia necesaria, productividad, dimensionamiento, eficiencia según materia prima a procesar, etc.

3.4.1 Costos de capital de la planta

Están determinados por los gastos de inversión y los de explotación.

3.4.1.1 Gastos de inversión

1. Gastos previos de inversión

En la tabla 3.1 se muestran los costos previos a la inversión

Tabla 3.1 Costos previos

Costos previos	Valor (USD)
Estudios de prefactibilidad	51603
Tasas e impuestos	936

El valor del estudio de prefactibilidad lo da el cliente que nos brinda la información necesaria sobre el frente minero, características geológicas, tipo de voladura, etc. Las tasas e impuestos se determinan como el 3 % de la venta de los productos (ver tabla 3.7).

2. Costos de capital de los equipos principales

En la tabla 3.2 se muestran los costos del equipamiento principal de la planta de procesamiento.

Tabla 3.2 Costos del equipamiento principal de la planta

Maquinaria	Cantidad	Coste Unitario (USD)	Coste Total (USD)
Camión SINOTRUK	3	180000	540000
Cargador frontal LIUGONG	1	280000	280000
Bulldócer frontal XCMG	1	280000	280000
Planta de trituración y selección	1	1500000	1500000
Instalación de equipos y obra civil		-	48000
Total		2240000	2648000

Como se puede observar en la tabla 3.2, se tiene una inversión en compra de equipos que asciende a los dos millones de dólares americanos. Es importante destacar que esto se debe fundamentalmente a que en el precio del equipamiento

está incluido el transporte, la instalación y montaje del mismo, así como todos los accesorios necesarios para la instalación.

Los gastos de inversión de la planta tienen un valor de 2700539 USD.

3.4.1.2 Gastos de explotación

Están determinados por los gastos en el salario del personal, suministro y mantenimiento.

1. Gasto de salario del personal

El gasto de salario del personal se determinó según el salario mínimo mensual (1218 CUP) establecido para trabajadores de minas y canteras, lo que hace un monto de 19439 USD por 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 y se vea claramente.

2. Gastos en suministros

En la tabla 3.3 se determinó la cantidad de combustible al año que consumen los equipos de transporte y carga; la energía que consume la planta se abastece directamente de la red nacional.

Tabla 3.3 Gastos en suministros

Suministros	Coste Total (USD)
Energía eléctrica	243000
Combustible para el transporte	2645370
Total	2879370

3. Mantenimiento

El mantenimiento de los equipos se toma como el 60 % de la inversión total para la maquinaria por lo que el coste total es de 1588800 USD.

El total de gastos de explotación es de 4487609 USD

Gastos de capital de la planta

En la tabla 3.4 se resumen los costos de capital, así como de los gastos que nos va a dar una medida de la inversión que se está realizando.

Tabla 3.4 Gastos de capital de la planta

Año	Gastos de inversión	Personal	Suministros	Mantenimiento	
0	2700539	0	0	0	Total
1	0	19439	2879370	1588800	2700539
2	0	19439	2879370	1612632	4487609
3	0	19439	2879370	1636821	4511441
4	0	19439	2879370	1661374	4535631
5	0	19439	2879370	1686294	4560183
6	0	19439	2879370	1711589	4585104

El costo de capital de la planta más un año de gastos da un valor aproximadamente de 7188148 USD, que debe ser el presupuesto a pedir al banco para la implementación de la planta de procesamiento.

3.4.2 Ingresos por venta de productos

En la tabla 3.5 se muestran los ingresos a partir de una producción de 124 800 m³/año de áridos, para una producción de 480 m³/día.

Tabla 3.5 Ingresos por venta de áridos

Fracción (mm)	Precio (m ³)	Producción anual (m ³)				
		1	2	3	4	5
Fracción 0-20	24,95	18720	18720	18720	18720	18720
Fracción 0-4,76	24,95	43680	43680	43680	43680	43680
Fracción 4,76-10	24,38	31200	31200	31200	31200	31200
Fracción 10-20	24,32	31200	31200	31200	31200	31200
Ingreso anual (USD)		3076320	3076320	3076320	3076320	3076320

3.4.3 Financiación de los productos

A partir del préstamo que se le debe pedir al banco (7188148 USD), se procede a la financiación. Se muestra la tabla 3.6 con los principales indicadores de financiación, el interés que recibe el banco de un 7 %.

Tabla 3.6 Financiación de los productos

Año	1	2	3	4	5
Capital pendiente (USD)	7188148	5750518	4312889	2875259	1437630
Intereses (USD)	575052	460041	345031	230021	115010
Amortizado (USD)	1437630	1437630	1437630	1437630	1437630
Cuota (USD)	2012681	1897671	1782661	1667650	1552640

3.4.4 Análisis a partir de los criterios estadísticos

Valor actual neto (VAN): 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.

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{FC}{(1+k)^t} \quad (23)$$

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.

$$PR = A_{ART} + \frac{C_{NRPA}}{F_{AR}} \quad (24)$$

Donde:

A_{ART} : Año anterior a la recuperación total

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

F_{AR} : Flujo del año de recuperación

Se asume un tiempo de depreciación del equipamiento para la planta de cinco años posterior a la inversión. Después de este período los equipos deben de ser reparados o cambiados.

Generalmente estos criterios se determinan por programas computacionales, que permiten un fácil manejo del flujo de datos. Para la determinación de estos se utilizó una plantilla de Excel, los resultados se muestran en la tabla 3.7.

Tabla 3.7 Análisis a partir de los criterios estadísticos

Criterios	Año					
	1	2	3	4	5	6
Ingreso	3076320	3076320	3076320	3076320	3076320	3076320
Gasto	4487609	4511441,28	4535630,76	4560183,08 2	4585103,68 9	4610833,22 5
Intereses	575052	460041	345031	230021	115010	0
Beneficio Bruto	-3977463	-3886284	-3795463	-3705005	-3614916	1534513
Amortización equipo	540108	540108	540108	540108	540108	540108
Beneficio tras impuesto	4517570	-3066193	-3007159	-2948361	-2889803	997434
Fondo generado	-3977463	-2526085	-2467051	-2408254	-2349695	1534513
Reemb. Crédito	1437630	1437630	1437630	1437630	1437630	1437630
Flujo de caja	-5415092	-3963714	-3904681	-3845883	-3787325	1534513
Flujo actualizado	- 4708775, 9	- 2997137,56 6	- 2567391,04 4	- 2198896,15 8	- 1882969,76 9	663412,413 6

Según los resultados obtenidos, en el VAN (5.164.081 USD), TIR (20%) y tiempo de recuperación (5 años), se puede decir que la planta es rentable.

CONCLUSIONES

1. Se analizaron las características tecnológicas de la materia prima, lo que permitió realizar el cálculo del esquema tecnológico, determinar los parámetros del proceso productivo y la elección del equipamiento para la planta de procesamiento.
2. Se realizó la valoración económica del proyecto y se determinó que con una inversión aproximada de 7944238 USD, se obtiene un VAN de 5.164.081 USD y una TIR del 20% en un periodo de recuperación de cinco años. De la evaluación financiera se obtuvieron resultados los cuales determinaron que la implementación del estudio es factible, ya que se obtuvo una VAN positiva, la Tasa Interna de Retorno (TIR) 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.
3. Se evaluaron las medidas de seguridad en la planta, el plan de mantenimiento que se debe tener en cuenta, así como el impacto ambiental producido por la actividad de procesamiento y las medidas de mitigación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Andéiev S.L, Perov V.A, Zverievich. 1980: Trituración, desmenuzamiento y cribado de minerales. Editorial Mir, Moscú, p. 536.
2. BAIONI. 2016: Manual de uso y mantenimiento para equipos de trituración y selección. Crushing Plant SpA, p. 46.
3. Batista Gonzales. 2009: Yacimiento de rocas y minerales industriales en Cuba. [Consultado. 30 abril 2018]. Disponible en: http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2009_Batista_Gonzalez_Rocas%20y%20Minerales%20Industriales%20de%20Cuba.pdf.
4. Dos Santos H, A. 2017: Proyecto de explotación de la Cantera Cerro Calera Bariay. Trabajo de Diploma en opción al título de ingeniero de Minas. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 95h.
5. ENIA. (2018). Informe Técnico actualizado de árido grueso para especificaciones en el hormigón, p. 1-50.
6. Geominera Oriente. Investigación Geológica de Prospección y Exploración del yacimiento de Calizas cantera "Cerro Calera Bariay"/ MINEM.-Santiago de Cuba: [s.l.], [s.n.], 2014.-83p.
7. González Filgueira G., Bravo Trillo, J.C., Rodríguez García, J.D. 2010: Automatización e Instalación de una Planta de áridos. España. [Consultado. 30 abril 2018]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/283733216_Automatizacion_e_Instalacion_de_una_Planta_de_áridos.
8. Mular A.L, Bhappu R.B. 1980 :Diseño de plantas de proceso de minerales .Nueva York (U.S.D)
9. Mular A.L, Poulin R. 1998: A handbook for estimating mining and mineral processing equipment costs and capital expenditures and aiding mineral Project evaluations. Editorial Copyright, p. 319.
10. Oficina Nacional de Normalización (ONN). NC: 178: 2002. Áridos. Análisis granulométrico. La Habana.
11. Oficina Nacional de Normalización (ONN). NC: 187: 2002. Áridos gruesos. Peso específico y absorción del agua. Método de ensayo. La Habana.

12. Oficina Nacional de Normalización (ONN). NC: 188: 2002. Áridos gruesos. Abrasión. Método de ensayo. La Habana.
13. Oficina Nacional de Normalización (ONN). NC: 189: 2002. Áridos gruesos. Determinación de las partículas planas y alargadas. Método de ensayo. La Habana.
14. Oficina Nacional de Normalización (ONN). NC: 190: 2002. Áridos gruesos. Determinación del índice de triturabilidad. Método de ensayo. La Habana.
15. Oficina Nacional de Normalización (ONN). NC: 54-32: 85. Materiales y productos de la construcción. Roca natural. Determinación de la resistencia a la compresión. La Habana.
16. Oficina Nacional de Normalización (ONN). NC: 759: 2010. Áridos para mezclas asfálticas. Requisitos. La Habana.
17. Oficina Nacional de Normalización (ONN). NC: 991: 2013. Áridos. Términos y definiciones. La Habana.
18. PARTIDO COMUNISTA DE CUBA. 2011: "Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución ", VI Congreso del Partido Comunista de Cuba.
19. Peneque Ruiz. P: Reabierto en Camagüey planta para el procesamiento de áridos. [Consultado. 30 abril 2018]. Disponible en: <http://www.cadenagramonte.cu/articulos/ver/2280:reabierto-en-camagueey-planta-para-el-procesamiento-de-áridos>.
20. Rázumov K.A, Perov V.A. 1982: Proyectos de fábricas de preparación de minerales. Editorial Mir, Moscú, p. 585.
21. Rodríguez Pentón, C .2010: Otra vez arena desde Algaba. [Consultado. 30 abril 2018]. Disponible en: <http://www.escambray.cu/2011/otra-vez-arena-desde-algaba/>.
22. Rudenno V. 2012: Mining valuationg. Editorial WILEY, p. 609.
23. Serrano Méndez H. 2015: Tabloide de medio ambiente. Suplemento especial, p. 34.

ANEXOS

Anexo 1. Determinación y promedio de los parámetros físico mecánicos en testigo de perforación

No de pozo	No de Muestras	Desde (m)	Hasta (m)	Total (m)	Coef. de trit. 4 – 8 mm (%)		Marca	Coef. de trit. 10 – 20 mm (%)		Marca	Abs. %
					Seco	Saturado		Seco	Saturado		
P – 3	P3 –01	0,0	1,00	1,00	12,4	12,7	1000	13,7	14,0	800	1,1
	P3 –02	1,00	3,00	3,00	13,2	14,1	800	16,2	16,0	600	2,7
	P3 – 03	3,00	4,50	1,50	13,0	13,7	800	16,4	15,1	600	3,1
	P3 –04	4,50	7,50	3,00	15,6	13,5	600	16,6	15,0	600	1,8
	P3–05	7,50	10,00	2,50	17,8	17,9	600	19,9	19,4	600	4,6
	P3 –06	10,00	12,50	2,50	17,3	16,7	600	18,1	18,6	600	3,3
	P3 –07	12,50	15,50	3,00	13,4	14,7	800	15,2	16,1	600	3,7
	P3 –08	15,50	18,50	3,00	15,2	18,7	600	16,5	18,7	600	4,3
	P3 –09	18,50	21,00	2,50	13,2	15,9	600	14,1	14,8	800	1,9
	P3 –10	21,00	23,00	2,00	12,4	14,5	800	15,8	15,1	600	2,1
	P3 –11	23,00	25,00	2,00	13,7	14,3	800	14,6	14,9	800	4,5
	P3 –12	26,70	28,70	1,00	13,3	13,5	800	14,3	14,2	800	4,7
	P3–13	28,70	30,10	1,40	13,2	13,0	800	15,4	14,0	600	3,6
	P3–14	30,10	32,90	2,80	6,5	8,0	1200	9,4	9,0	1200	0,5
	P3 –15	32,90	35,00	2,10	9,1	10,4	1200	10,9	12,1	1000	4,6
Promedio:		0,0	35,00	34,20							3,1
P – 4	P4–16	0,0	1,00	1,00	8,7	10,3	1200	11,0	10,6	1200	3,5
	P4 –17	1,00	2,00	1,00	8,5	11,8	1000	10,0	10,4	1200	1,2
	P4–18	2,00	4,00	1,00	8,9	9,8	1200	9,5	13,5	800	3,6

	P4-19	4,00	4,00	1,00	8,7	9,6	1200	9,2	9,9	1200	1,3
	P4-20	4,00	5,00	1,00	9,4	10,3	1200	8,8	6,2	1200	4,1
	P4-21	5,00	7,00	2,00	9,5	11,0	1200	11,7	9,4	1000	0,8
	P4-22	7,00	8,00	1,00	9,4	11,2	1000	10,4	8,3	1200	4,8
	P4-23	8,00	9,00	1,00	10,2	11,2	1000	11,1	7,6	1200	2,5
	P4-24	9,00	11,5 0	2,50	9,3	12,0	1000	10,9	15,0	800	3,1
	P4-25	11,50	14,0 0	3,00	9,9	10,7	1200	11,5	13,5	800	4,3
	P4-26	14,00	15,5 0	1,50	17,0	19,4	600	20,4	20,2	400	2,6
	P4-27	15,50	18,5 0	3,00	14,1	17,5	600	17,1	20,6	400	0,7
	P4-28	18,50	21,5 0	2,00	13,3	17,9	600	19,4	19,9	600	3,3
	P4-29	21,50	23,0 0	1,50	11,2	14,9	800	15,5	18,2	600	2,8
	P4-30	23,00	24,5 0	1,50	11,7	16,5	600	15,0	20,0	600	3,1
	P4-31	24,50	27,0 0	3,00	11,6	14,7	800	12,4	16,4	600	1,5
	P4-32	27,00	30,0 0	3,00	8,4	14,5	800	11,4	16,6	600	1,3
	P4-33	30,00	33,0 0	3,00	12,4	9,3	1000	14,9	18,7	600	3,1
	P4-34	33,00	36,0 0	3,00	10,8	12,1	1000	15,2	16,9	600	2,7
	P4-35	36,00	39,0 0	3,00	10,1	15,0	800	11,0	15,9	600	1,4
Promedio:		0,0	39,0 0	38,6 0							2,5 8
P – 1	P1-36	0,0	0,80	0,80	7,8	13,4	1200	13,5	17,0	1200	1,3
	–	0,80	2,00	1,20	–	–	–	–	–	–	–
	–	2,00	3,00	1,00	–	–	–	–	–	–	–
	–	3,00	4,50	1,50	–	–	–	–	–	–	–
	–	4,50	6,00	1,50	–	–	–	–	–	–	–
	–	6,00	7,50	1,50	–	–	–	–	–	–	–
	–	7,50	9,00	1,50	–	–	–	–	–	–	–
	–	9,00	10,5 0	1,50	–	–	–	–	–	–	–

	–	10,50	11,0	0,50	–	–	–	–	–	–	–
Promedio:		0,0	11,0	11,0							
P – 1A	P1A–37	0,0	3,00	3,00	8,9	13,9	1000	11,8	12,0	1000	1,3
	P1A–38	3,00	6,50	3,50	11,6	11,3	1000	11,1	15,9	600	1,4
	P1A–39	6,50	9,50	3,00	9,3	14,9	800	11,5	15,2	800	1,3
	P1A–40	9,50	12,00	2,50	11,4	17,2	600	15,2	20,6	600	2,7
	P1A–41	12,00	14,50	2,50	10,6	11,2	1000	13,2	12,0	100	1,7
	P1A–42	14,50	18,00	3,50	11,2	15,7	800	12,0	17,0	600	1,7
	P1A–43	18,00	21,00	3,00	10,2	15,1	800	12,1	20,5	600	1,6
	P1A–44	21,00	24,00	3,00	8,4	13,6	800	12,5	11,1	800	1,2
	P1A–45	24,00	27,00	3,00	12,9	10,5	800	14,3	17,8	600	1,8
	P1A–46	27,00	30,00	3,00	16,9	18,2	600	16,1	14,8	600	2,9
	P1A–47	30,00	33,00	3,00	17,0	17,0	600	17,4	19,6	600	3,1
	P1A–48	33,00	35,00	2,00	17,9	18,2	600	13,7	16,4	600	1,7
Promedio:		0,0	35,0	34,2							1,86
P – 2	P2 – 49	0,0	3,00	3,00	9,7	12,9	1000	13,5	18,0	600	1,6
	P2– 50	3,00	6,00	3,00	11,0	13,4	800	16,5	17,4	600	1,5
	P2– 51	6,00	9,00	3,00	11,9	11,4	1000	12,9	11,5	1000	1,3
	P2 – 52	9,00	13,00	4,00	11,3	17,2	600	15,2	20,5	600	1,6
	P2 – 53	13,00	16,50	3,50	11,0	16,0	600	11,9	20,9	400	1,7
	P2 – 54	16,50	20,00	3,50	11,5	17,3	600	15,4	17,1	600	1,7
	P2 – 55	20,00	24,00	4,00	8,9	13,8	800	12,0	12,2	600	1,2
	P2 – 56	24,00	28,00	4,00	11,2	14,7	800	15,4	18,3	600	1,5
	P2 – 57	28,00	31,00	3,00	9,0	14,1	800	11,9	11,8	1000	1,2

	P 2 – 58	31,00	35,0 0	4,00	13,5	17,9	600	19,5	20,1	600	2,2
Promedio:		0,0	35,0 0	34,2 0							1,2 9
P – 5	P5– 59	0,0	2,00	2,00	8,7	13,7	800	12,0	12,2	1000	1,9
	P5 – 60	2,00	5,00	3,00	11,1	12,0	1000	14,9	16,4	600	1,5
	P5 – 61	5,00	8,00	3,00	11,1	14,8	800	12,1	18,3	600	2,3
	P5 – 62	8,00	11,0 0	3,00	12,2	14,4	800	13,1	17,4	600	1,5
	P5– 63	11,00	14,0 0	3,00	12,6	14,5	800	12,0	16,1	600	1,3
	P5 – 64	14,00	15,5 0	1,50	12,1	14,6	800	14,0	18,7	600	1,8
	P5 – 65	15,50	18,5 0	3,00	12,5	12,7	1000	13,6	16,5	600	2,7
	P5 – 66	18,50	21,5 0	3,00	10,2	16,2	600	19,5	16,5	600	4,8
	P5 – 67	21,50	23,5 0	2,00	16,7	18,8	600	21,3	22,0	400	4,9
	P5 – 68	23,50	27,0 0	3,50	14,7	17,0	600	21,3	20,8	400	5,1
	P5 – 69	27,00	30,5 0	3,50	16,4	18,3	600	20,3	18,0	400	4,3
	P5 – 70	30,50	33,5 0	3,00	11,9	16,2	600	17,0	18,7	600	3,7
	P5 – 71	33,50	37,0 0	3,50	12,6	16,1	600	14,9	19,1	600	2,7
	P5 – 72	37,00	40,0 0	3,00	12,1	14,7	800	14,6	19,6	600	2,0
	P5 – 73	40,00	43,0 0	3,00	13,3	15,6	600	8,5	18,2	600	3,4
	P5– 74	43,00	45,0 0	2,00	14,0	15,4	600	15,8	20,2	600	1,8
	P5– 75	45,00	48,0 0	3,00	11,9	16,2	600	15,3	10,9	800	1,8
	P5– 76	48,00	50,0 0	2,00	8,7	10,9	1200	12,9	17,9	600	1,8
Promedio :		0,0	50,0 0	49,6 0							2,7 3
P – 6	P6 – 77	0,0	3,00	3,00	11,1	12,1	1000	13,6	19,0	600	3,0
	P6 – 78	3,00	6,00	3,00	13,3	17,2	600	15,2	17,9	600	3,6

Anexo 2. Determinación y promedio de masa volumétrica según testigo de perforación

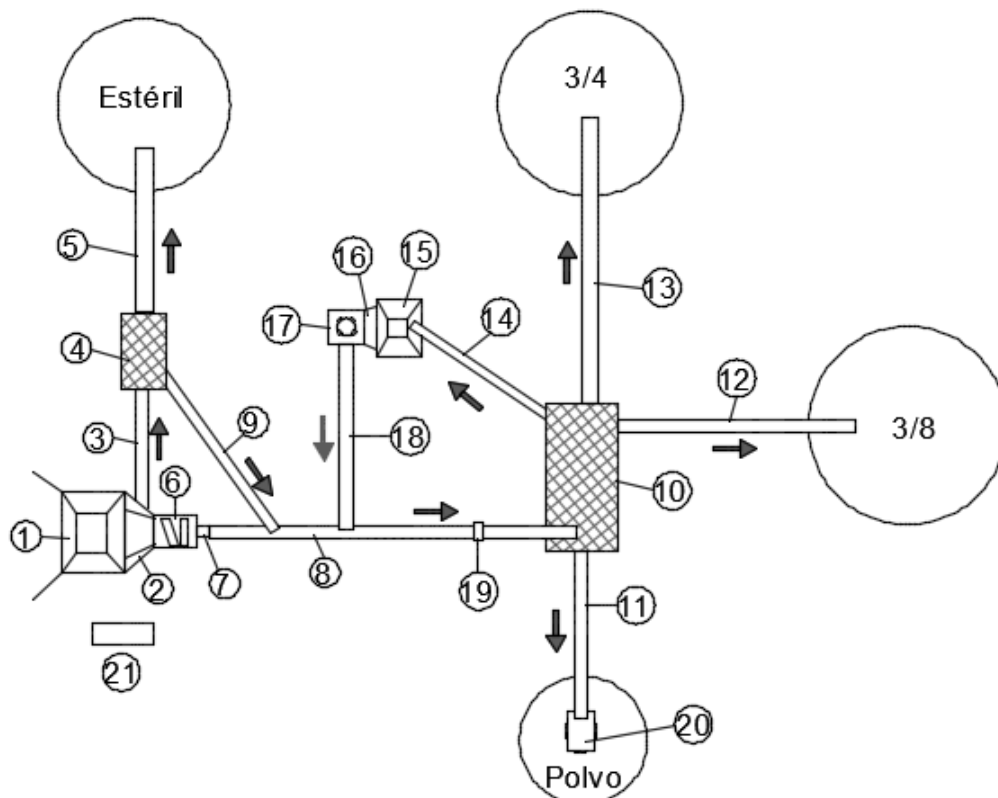
No, de pozo,	No, de muestras	Desde (m)	Hasta (m)	Total (m)	Fracción: 5 – 10 mm (%)		Fracción: 10 – 20 mm (%)	
					MV seco (g/cm3)	MV sat, (g/cm3)	MV seco (g/cm3)	MV sat, (g/cm3)
P – 3	P3 – 01	0,0	1,00	1,00	2,60	2,64	2,66	2,68
	P3 – 02	1,00	3,00	3,00	2,65	2,68	2,58	2,69
	P3 – 03	3,00	4,50	1,50	2,43	2,57	2,73	2,74
	P3 – 04	4,50	7,50	3,00	2,57	2,62	2,60	2,64
	P3 – 05	7,50	10,00	2,50	2,44	2,55	2,52	2,65
	P3 – 06	10,00	12,50	2,50	2,47	2,55	2,50	2,57
	P3 – 07	12,50	15,50	3,00	2,39	2,59	2,48	2,55
	P3 – 08	15,50	18,50	3,00	2,37	2,50	2,47	2,55
	P3 – 09	18,50	21,00	2,50	2,54	2,60	2,61	2,64
	P3 – 10	21,00	23,00	2,00	2,53	2,59	2,55	2,59
	P3 – 11	23,00	25,00	2,00	2,41	2,55	2,52	2,59
	P3 – 12	26,70	28,70	1,00	2,57	2,62	2,41	2,59
	P3 – 13	28,70	30,10	1,40	2,52	2,61	2,48	2,57
	P3 – 14	30,10	32,90	2,80	2,66	2,67	2,66	2,67
	P3 – 15	32,90	35,00	2,10	2,40	2,52	2,49	2,60
Promedio				2,22	2,50	2,59	2,55	2,62
P – 4	P4 – 16	0,0	1,00	1,00	2,52	2,63	2,62	2,69
	P4 – 17	1,00	2,00	1,00	2,62	2,66	2,65	2,67
	P4 – 18	2,00	4,00	1,00	2,49	2,64	2,64	2,67
	P4 – 19	4,00	4,00	1,00	2,61	2,65	2,65	2,67
	P4 – 20	4,00	5,00	1,00	2,51	2,59	2,46	2,58
	P4 – 21	5,00	7,00	2,00	2,62	2,65	2,68	2,69
	P4 – 22	7,00	8,00	1,00	2,53	2,67	2,46	2,56
	P4 – 23	8,00	9,00	1,00	2,42	2,52	2,59	2,61
	P4 – 24	9,00	11,50	2,50	2,43	2,56	2,61	2,63
	P4 – 25	11,50	14,00	3,00	2,47	2,60	2,53	2,62

	P4 – 26	14,00	15,50	1,50	2,44	2,52	2,50	2,55
	P4 – 27	15,50	18,50	3,00	2,63	2,66	2,66	2,66
	P4 – 28	18,50	21,50	2,00	2,54	2,63	2,68	2,76
	P4 – 29	21,50	23,00	1,50	2,55	2,62	2,49	2,57
	P4 – 30	23,00	24,50	1,50	2,47	2,56	2,51	2,57
	P4 – 31	24,50	27,00	3,00	2,58	2,63	2,62	2,66
	P4 – 32	27,00	30,00	3,00	2,60	2,65	2,69	2,71
	P4 – 33	30,00	33,00	3,00	2,47	2,56	2,53	2,60
	P4 – 34	33,00	36,00	3,00	2,46	2,55	2,56	2,61
	P4 – 35	36,00	39,00	3,00	2,55	2,59	2,57	2,60
Promedio				1,95	2,52	2,60	2,58	2,63
P – 1	P1 – 36	0,0	0,80	0,80	2,49	2,53	2,60	2,62
P – 1 ^a	P1A –37	0,0	3,00	3,00	2,59	2,63	2,65	2,67
	P1A –38	3,00	6,50	3,50	2,60	2,64	2,63	2,66
	P1A –39	6,50	9,50	3,00	2,59	2,63	2,64	2,66
	P1A –40	9,50	12,00	2,50	2,50	2,57	2,52	2,58
	P1A –41	12,00	14,50	2,50	2,53	2,58	2,58	2,61
	P1A –42	14,50	18,00	3,50	2,52	2,58	2,59	2,62
	P1A –43	18,00	21,00	3,00	2,56	2,60	2,56	2,60
	P1A –44	21,00	24,00	3,00	2,55	2,59	2,65	2,67
	P1A –45	24,00	27,00	3,00	2,51	2,51	2,57	2,61
	P1A –46	27,00	30,00	3,00	2,44	2,52	2,50	2,56
	P1A –47	30,00	33,00	3,00	2,41	2,49	2,54	2,43
	P1A –48	33,00	35,00	2,00	2,51	2,57	2,64	2,67
Promedio				2,91	2,52	2,2,58	2,58	2,62
P – 2	P2 – 49	0,0	3,00	3,00	2,54	2,59	2,62	2,65
	P2 – 50	3,00	6,00	3,00	2,57	2,62	2,62	2,64
	P2 – 51	6,00	9,00	3,00	2,58	2,63	2,65	2,67
	P2 – 52	9,00	13,00	4,00	2,52	2,58	2,62	2,64
	P2 – 53	13,00	16,50	3,50	2,51	2,56	2,55	2,59
	P2 – 54	16,50	20,00	3,50	2,49	2,55	2,56	2,59

	P2 – 55	20,00	24,00	4,00	2,68	2,72	2,61	2,64
	P2 – 56	24,00	28,00	4,00	2,61	2,66	2,60	2,63
	P2 – 57	28,00	31,00	3,00	2,53	2,56	2,59	2,62
	P2 – 58	31,00	35,00	4,00	2,50	2,56	2,59	2,64
Promedio				3,5	2,55	2,60	2,60	2,63
P – 5	P5 – 59	0,0	2,00	2,00	2,56	2,62	2,75	2,80
	P5 – 60	2,00	5,00	3,00	2,58	2,63	2,63	2,66
	P5 – 61	5,00	8,00	3,00	2,56	2,61	2,55	2,61
	P5 – 62	8,00	11,00	3,00	2,58	2,63	2,70	2,74
	P5 – 63	11,00	14,00	3,00	2,61	2,64	2,64	2,67
	P5 – 64	14,00	15,50	1,50	2,55	2,61	2,63	2,66
	P5 – 65	15,50	18,50	3,00	2,49	2,57	2,56	2,61
	P5 – 66	18,50	21,50	3,00	2,29	2,45	2,52	2,58
	P5 – 67	21,50	23,50	2,00	2,34	2,47	2,42	2,52
	P5 – 68	23,50	27,00	3,50	2,33	2,47	2,42	2,52
	P5 – 69	27,00	30,50	3,50	2,35	2,48	2,47	2,54
	P5 – 70	30,50	33,50	3,00	2,40	2,51	2,50	2,57
	P5 – 71	33,50	37,00	3,50	2,46	2,53	2,46	2,52
	P5 – 72	37,00	40,00	3,00	2,51	2,57	2,57	2,61
	P5 – 73	40,00	43,00	3,00	2,46	2,54	2,47	2,55
	P5 – 74	43,00	45,00	2,00	2,54	2,60	2,58	2,61
	P5 – 75	45,00	48,00	3,00	2,56	2,62	2,60	2,64
	P5 – 76	48,00	50,00	2,00	2,56	2,62	2,62	2,65
Promedio				2,77	2,63	2,71	2,71	2,76
P – 6	P6 – 77	0,0	3,00	3,00	2,46	2,55	2,51	2,57
	P6 – 78	3,00	6,00	3,00	2,45	2,55	2,49	2,57
	P6 – 79	6,00	9,00	3,00	2,53	2,60	2,59	2,63
	P6 – 80	9,00	12,00	3,00	2,61	2,65	2,62	2,65
	P6 – 81	12,00	15,00	3,00	2,56	2,62	2,64	2,66
	P6 – 82	15,0	16,50	1,50	2,54	2,60	2,64	2,66

	P6 – 83	16,50	19,50	3,00	2,47	2,56	2,57	2,62
	P6 – 84	19,50	22,50	3,00	2,43	2,53	2,51	2,58
	P6 – 85	22,50	24,50	2,00	2,37	2,50	2,45	2,54
	P6 – 86	24,50	28,00	3,50	2,30	2,45	2,40	2,52
	P6 – 87	28,00	31,50	3,50	2,37	2,49	2,40	2,51
	P6 – 88	31,50	34,50	3,00	2,41	2,52	2,47	2,56
	P6 – 89	34,50	38,00	3,50	2,43	2,53	2,49	2,56
	P6 – 90	38,00	41,00	3,00	2,54	2,60	2,59	2,63
	P6 – 91	41,00	44,00	3,00	2,48	2,56	2,56	2,61
	P6 – 92	44,00	46,00	2,00	2,42	2,52	2,48	2,57
	P6 – 93	46,00	48,00	2,00	2,46	2,54	2,52	2,58
	P6 – 94	48,00	50,00	2,00	2,43	2,52	2,45	2,54
Promedio				2,77	2,60	2,69	2,66	2,73

Anexo 3. Esquema tecnológico de la planta



Anexo 4 Cintas transportadoras modelo NT



Anexo 5 Precribador vibratorio modelo AVC



Anexo 6 Triturador primario modelo BP 900/600



Anexo 7 Vaglio vibrante inclinato W 300/2 y W 500/3



Anexo 8 Triturador MIL 1000



Anexo 9 Alimentador vibratorio AV 85



Anexo 10 Cargador frontal marca LIUGONG modelo CLG - 877 - 3



Anexo 11 Camión marca SINOTRUK modelo ZZ5707S3840AJ



Anexo 12 Grúa de izaje DIMACRO



Anexo 13 Buldócer frontal marca XCMG modelo TY – 230

