

Proyecto del esquema tecnológico de la planta de procesamiento de áridos Cerro Calera Bariay*

Arletty Llevat Madrazo

Naisma Hernández Jatib

[nhjatib@ismm.edu.cu](mailto:nhatib@ismm.edu.cu)

Rogelio Romentol Cruz

Especialidad: Ingeniería en Minas

Instituto Superior Minero Metalúrgico (Cuba).

Resumen: Se elaboró 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 partió del análisis de las características ingeniero-geológica del área, teniendo en cuenta las propiedades físico-mecánicas del mineral. Se realizó el cálculo del esquema tecnológico; se establecieron los parámetros del proceso productivo y se eligió el equipamiento para la planta. Los resultados obtenidos de la evaluación financiera determinaron que la implementación del estudio es factible, teniendo en cuenta que se obtuvo un valor actual neto positiva. La tasa interna de retorno (TIR) está por encima de la tasa de descuento y la relación beneficio-costos (B/C) es mayor que la unidad por lo que el proyecto ofrece rentabilidad.

Palabras clave: polo turístico; procesamiento de áridos; industria de la construcción.

* Recibido: 6 agosto 2018/ Aceptado: 30 enero 2019.

Project of Technological scheme of Cerro Calera Bariay arid processing plant

Abstract: The Project for the technological scheme of Cerro Calera Bariay quarry of the arid processing plant was elaborated; it allows supplying the raw material needed to carry out the construction of a tourist zone of the north region of Holguín province. The methodology used starts from the analysis of the geological-engineer characteristics of the zone, taking into account the physic-mechanic properties of the mineral. The calculation of the technological scheme was made, the parameters of the productive process was also analyzed as well as choosing the equipment for the plant. The results from the financial assessment showed that it is feasible implementing the study, considering that it was obtained a positive current net value, the internal rate of return (IRR) is over of the Discount Rate and the benefit-cost ratio (BCR) was higher than the unit thus the project is profitable.

Key words: tourist zone; arid processing; construction industry.

Introducción

Los áridos son materias primas minerales 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.

Para la producción de áridos de trituración se utilizan 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 1 300 000 m³ de recursos calculados (Batista, 2009).

A partir del 2014 se comienzan los estudios en la cantera Cerro Calera Bariay de calizas, con el propósito de evaluar la materia prima que responda a los requisitos de calidad para la producción de áridos para la construcción (ENIA, 2018). Dos Santos (2017) realiza el proyecto de explotación de la cantera, sin embargo, no recoge dentro de sus objetivos el diseño de la planta de procesamiento de esta concesión minera.

Debido a la importancia económica de las obras de infraestructuras que se acometen como plan de desarrollo económico y social el yacimiento es fuente alternativa de materia prima. Surge como componente de un proyecto de la Industria de Materiales de la Construcción, dirigido a asegurar las demandas del polo turístico del Ramón de Antilla.

La actual suministradora de materia prima para la fábrica de asfalto que conformará los viales de acceso al complejo turístico reporta gastos por concepto de combustible debido a la distancia de transportación (120 km). La planta de procesamiento 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.

Es por ello que este trabajo propone elaborar el proyecto del esquema tecnológico de la planta de procesamiento de áridos Cerro Calera Bariay.

Investigaciones tecnológicas y características cualitativas de los productos finales

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 piedra triturada. Se realizan, además, ensayos de 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): Los seis pozos que entraron en el balance presentaron espesor útil favorable en toda su extensión y profundidad, por encima de los requisitos exigidos por la tarea técnica.

- 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, por encima de la exigencia técnica, mostrando que estas rocas poseen mayor agrietamiento y, por tanto, la absorción de agua es 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 (Tabla 1).

Tabla 1. Absorción de agua

No.	No. de muestras	No. de pozo	Desde (m)	Hasta (m)	Absorción (%)
1	1TN	5-6	0,00	1 200	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)

Las dos fracciones poseen valores que avalan una calidad adecuada para su uso en los áridos, cumpliendo estos los parámetros exigidos por la norma.

Fracción de 5–10 mm: Se presenta con un 12,3 % como promedio para los dos bloques de cálculo.

Fracción de 10-20 mm: Tiene tendencia a disminuir la cantidad de partículas planas y alargadas en todos los pozos y muestras tomadas.

- 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. Para realizar una mejor evaluación se valoró 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 g/cm³ y 2,66 g/cm³, respectivamente, alcanzando de esta forma el 100 % de todas las muestras evaluadas.

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

Los resultados de la abrasión (Tabla 2), realizada a las muestras compuestas tomadas de los duplicados de los seis 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.

Tabla 2. 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	5-0 mm
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	3	28	30	34	30
Promedio		29,6	35	35	31

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 (Vega, 2015; Naluziath, 2016), 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.

Etapas en que se divide el esquema tecnológico

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, 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).

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 remoedor, es descargado a la zaranda (10), la cual posee tres paños (20 mm, 10 mm 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 por el transportador (12), mientras que la fracción 1 020 mm lo hace a través del (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 (8) y de ahí a la criba (10).

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.

Régimen de trabajo y cálculo de la capacidad instalada

El régimen de trabajo 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.

Cálculo del esquema de trituración

El yacimiento se extrae a cielo abierto, se caracteriza por su baja dureza, 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 por Rázumov & Perov (1982) y se elige el esquema de trituración tipo BA (Figura 1), que reduce el mineral del D_{máx}=500 mm hasta un valor de diámetro mínimo con un d_{máx}=20 mm.

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

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

Donde:

Q_{qgh} : productividad por hora de la maquinaria; (t/h)

Q_{fa} : 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 debe ser algo mayor que S_m . Por este motivo, para la primera etapa de trituración se toma 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:

$$\begin{aligned} D_7 &= \frac{D_1}{S_1} = \frac{500}{4} = 125 mm \\ D_9 &= \frac{D_1}{S_1 S_2} = \frac{500}{4 \cdot 6,25} = 125 mm \end{aligned} \quad (4)$$

- 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 con las características tipo de quebrantadoras para cada etapa, por lo que para los productos quebrantados en trituradoras de mandíbulas $z_{III} = 1,3$.

$$i_{III} = \frac{D_7}{z_{III}} = \frac{125}{1,3} = 96,15 \approx 100 \text{ mm}$$

$$D_7 = i_{III} \cdot z_{III} = 130 \text{ mm} \quad (5)$$

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 ($i-z_i$). 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 se toma:

$$a_I = i_{III} = 100 \text{ m}$$

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

$$a_{II} = 20 \text{ mm}$$

$$E_{II}^{-a} = 70 \% \quad (6)$$

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 con 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 %.

$$a_{IV} = 20 \text{ mm}$$

$$i_V = \frac{a_{IV}}{2} = 10 \text{ mm}$$

$$E_{IV}^{-a} = 85 \% \quad (7)$$

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).

$$Y_3 = 75 \%$$

$$Y_{10} = 50 \%$$

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.

$$Q_3 = Q_1 \gamma_3 = 162,00 \cdot 0,75 = 121,50 \text{ t/h} = 45,00 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{10} = Q_1 \gamma_{10} = 162,00 \cdot 0,50 = 80 \text{ t/h} = 30,00 \text{ m}^3/\text{h} \quad (8)$$

Elección de la trituradora

En la Tabla 3 se ofrecen las características tecnológicas de las trituradoras elegidas.

Tabla 3. Características tecnológicas de las trituradoras elegidas

Triturador primario modelo BP 900/600		Triturador MIL 1 000	
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	11 700 kg	Ancho 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 ($Q=80 \text{ t/h}$).

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

$$Q_{cc} = 1,3 \cdot 80 = 104 \text{ t/h} \quad (9)$$

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.

$$k_1 = \frac{121,50}{173} = 0,70$$

$$k_2 = \frac{81}{104} = 0,78 \quad (10)$$

Los coeficientes de carga de las trituradoras se encuentran dentro del rango aceptado donde la trituradora no está muy cargada, por lo que el esquema propuesto no presenta dificultades para utilizar las trituradoras estándar. No obstante, se hace necesario realizar el cálculo precisado del esquema de trituración.

Cálculo precisado del esquema de la trituración

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 se muestran en la Tabla 4, mientras que las características de grosor del material inicial y de la descarga de la trituradora de mandíbula se representan en las Figuras 1 y 2.

Tabla 4. Reducción de la característica tipo a fin de obtener la característica de la materia prima inicial y del producto de una trituradora de 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 máx. %	Grosor de la clase (mm) Materia prima inicial	Grosor de la clase (mm) Producto de la trituradora de mandíbulas
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

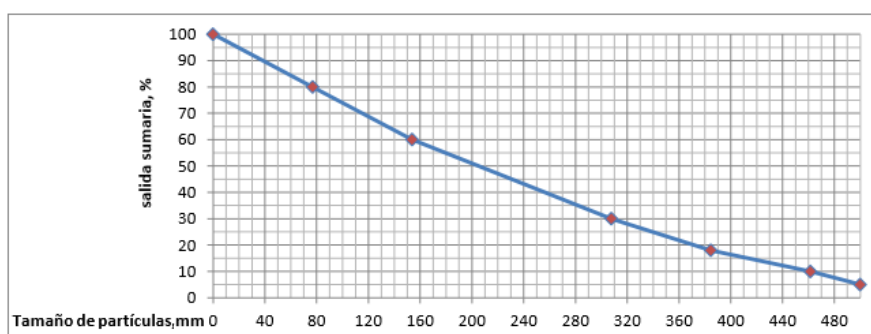


Figura 1. Características de tamaño de la materia prima inicial.

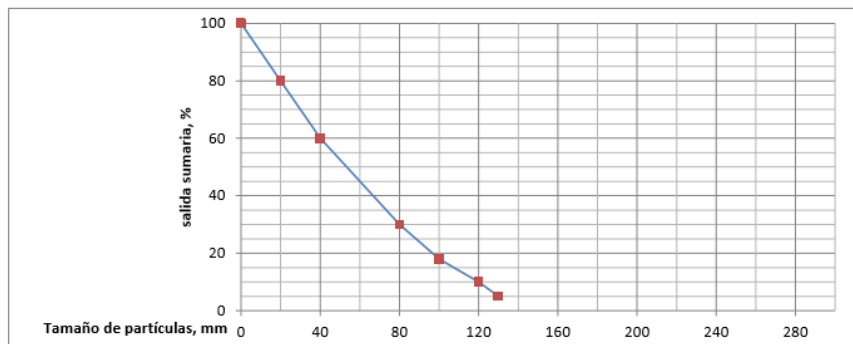


Figura 2. Características de tamaño de la descarga de la trituradora de mandíbula.

Cálculo de la primera etapa de trituración

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

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

El valor de β_1^{+100} y β_2^{-20} se toma del gráfico aducido a la Figura 1.

$$Q_2 = Q_1 \beta_1^{-a} E_1^{-a} = Q_1 \beta_1^{-100} E_1^{-85} = 162,00 \cdot 0,26 \cdot 0,70 = 29,48 \text{ t/h}$$

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

$$Q_4 = Q_2 \beta_2^{-a} E_1^{-a} = Q_2 \beta_2^{-20} E_1^{-20} = 29,48,00 \cdot 0,05 \cdot 0,70 = 1,03 \text{ t/h}$$

$$Q_5 = Q_2 - Q_4 = 29,48 - 1,03 = 28,45 \text{ t/h} \tag{11}$$

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 la Tabla 5 se muestra la escala de grosores para el producto de la trituradora. El tamaño de la descarga de dicha trituradora se representa en la Figura 4.

Tabla 5. 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 máx. %	Grosor de la clase, mm (d95=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

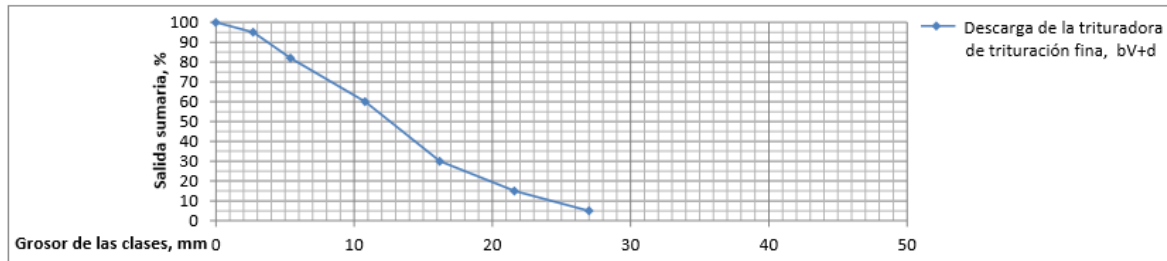


Figura 4. Características de tamaño de la descarga de las trituradoras de la segunda etapa de trituración.

$$\beta_7^{-d} = \beta_1^{-d} + \beta_1^i b_{III}^{-d}$$

$$\beta_7^{-20} = \beta_5^{-20} + \beta_6^{+100} b_{III}^{-20} = 0,05 + 0,74 \cdot 0,20 = 0,20 = 20 \%$$

$$\beta_5^{-20} = 100 - \beta_5^{+20} = 100 - 95 = 5 \%$$

$$\beta_6^{+100} = 74 \%$$

$$b_{III}^{-20} = 100 - b_{III}^{+20} = 100 - 80 = 20 \%$$

$$\beta_7^{+d} = \beta_7^{+20} = 1 - \beta_7^{-20} = 1 - 0,20 = 0,80$$

$$\beta_V^{-20} = 100 - b_V^{+20} = 100 - 20 = 80 \%$$

El valor de β_5^{+20} y β_6^{+100} se ha tomado en el gráfico aducido en la Figura 2; mientras que el de b_{III}^{+20} y el de b_V^{+20} ha sido en el de la Figura 3 y Figura 4, respectivamente.

$$Q_7 = Q_5 + Q_6 = 28,45 + 132,52 = 160,97 \text{ t/h}$$

$$Q_8 = Q_7 \left(\frac{1}{E_{IV}^{-a}} + \frac{\beta_7^{+a}}{b_V^{+a}} \right) = Q_7 \left(\frac{1}{E_{IV}^{-20}} + \frac{\beta_7^{+20}}{b_V^{+20}} \right) = 160,97 \left(\frac{1}{0,85} + \frac{0,80}{0,80} \right) = 229,62 \text{ t/h}$$

$$Q_{10} = Q_{11} + Q_8 = 228,92 + 160,48 = 68,65 \text{ t/h} \tag{12}$$

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

$$k_1 = \frac{Q_3}{Q_{queb}} = \frac{132,52}{173} = 0,76$$

$$k_2 = \frac{Q_{10}}{Q_{queb}} = \frac{68,65}{104} = 0,66 \quad (13)$$

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

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

Balance material de la planta

En la Tabla 6 se muestra el balance material de la planta, que permite comprobar la correspondencia entre el esquema de la planta y los valores obtenidos.

Tabla 6. Balance material de la planta 2.7.2.2

Ecuaciones de balance	Procesos	Flujo	Cantidad (t/h)
Q ₁ =Q ₂ +Q ₃	Entrada	Q ₁	162
		Q ₂	29,48
Q ₃		132,52	
Q ₈		229,62	
Q ₁₀		68,65	
Q ₃ =Q ₆		Salida	Q ₄
Q ₈ =Q ₇ +Q ₁₁	Q ₅		28,45
Q ₁₀ =Q ₁₁	Q ₆		132,52
Q ₇ =Q ₅ + Q ₈	Q ₇		160,97
	Q ₁₁		68,65

Cálculo de la potencia de la trituradora

La metodología expuesta por Rázumov & Perov (1982) no contempla el cálculo de la potencia de las trituradoras como uno de los requerimientos a cumplir, 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 han sido determinados para minerales de dureza media con una densidad aparente de 1,6 t/m³; puesto que la materia prima que se procesará es de dureza blanda, tiene una densidad de 2,7 t/m³ 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

$$Q_t = Q_c K_p K_d K_w K_{ten}$$

$$Q_t = 150 \cdot 1 \cdot 0,93 \cdot 1 \cdot 1,55 = 216,33 t/h$$

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

$$K_p = \frac{\rho}{2,7} = \frac{2,7}{2,7} = 1$$

$$K_d = 1 + \left(0,8 - \frac{d_n}{B}\right) = 1 + \left(0,8 - \frac{500}{575}\right) = 0,93$$

$$K_w = 1 \quad (14)$$

Donde:

Q_c : Capacidad de catálogo, t/h

K_{ten} : Coeficiente de corrección de la dureza

K_p : Coeficiente de corrección de la densidad

K_d : Coeficiente de corrección del tamaño

K_w : 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

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

Donde:

W_i : Índice de Bond, kWh/t

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

Potencia del motor de la trituradora

$$N_t = Q_t W = 2,16 \cdot 0,1533 = 33,16 \text{ kW} \quad (16)$$

Cálculo de la potencia de la trituradora de la segunda etapa

Capacidad de la trituradora

$$Q_t = Q_c K_p K_d K_w K_{ten}$$

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

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

$$K_p = \frac{\rho}{2,7} = \frac{2,7}{2,7} = 1$$

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

$$K_w = 1 \quad (17)$$

- Energía específica de la trituradora, kWh/t.

$$W = 7,5 \cdot W_i \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}}\right) = 7,5 \cdot 14 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{100000}} - \frac{1}{\sqrt{89700}}\right) = 0,6994 \text{ kWh/t} \quad (18)$$

- Potencia del motor de la trituradora

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

Elección de las cribas

En Rázumov & Perov (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 cual 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, establecida anteriormente en el cálculo del esquema de trituración. En las Tablas 7 y 8 se muestran las características tecnológicas de las cribas elegidas para cada etapa.

Tabla 7. 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	1 070 mm	Dimensión piano de cribado	3 000x1 250 mm
Ancho total plan de alimentación	4 960 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	6 600 kg	Peso	3 075 kg

Tabla 8. Características tecnológicas de la criba de la segunda etapa. Vaglio vibrante inclinado W 300/3

Parámetros	Valores
Dimensión piano de cribado	5 000x1 800 mm
Caudal máximo	300 t/h
Tamaño de alimentación máximo	2 500 mm
Potencia instalada	22 kW
Peso	9 100 kg

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 están presentes maquinarias que pueden utilizarse en diferentes grupos (BAIONI, 2016).

Cintas transportadoras modelo NT (Tabla 9): 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.

Tabla 9. 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)
NT50/21	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 10): Máquinas de vibración combinada con suspensión sobre muelles helicoidales. Realiza una operación combinada de alimentación y selección.

Tabla 10. Características tecnológicas del precribador vibratorio modelo AVC

Parámetros	Valores
Ancho útil de alimentación	1 070 mm
Ancho total plan de alimentación	4 960 mm
Potencia instalada	22 kW
Caudal máximo de alimentación	400 t/h
Peso	6 600 kg

Triturador primario modelo BP 900/600 (Tabla 11): 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.

Tabla 11. 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 12): Las cribas vibratorias, serie W, son de tipo oscilatorio y se vinculan mediante suspensión a resortes helicoidales. 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.

Tabla 12. Características tecnológicas del vaglio vibrante inclinado W 300/2 y W 500/3

Parámetros	WS300/2	WS 500/3
Dimensión piano de cribado	3 000x1 250 mm	5 000x1 800 mm
Caudal máximo	138 t/h	300 t/h
Tamaño de alimentación máximo	210 mm	2 500 mm
Potencia instalada	7,5 kW	22 kW
Peso	3 075 kg	9 100 kg

Triturador MIL 1000 (Tabla 13): Consta de un rotor con tres 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.

Tabla 13. Características tecnológicas triturador MIL 1000

Parámetros	Valor
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 maquina (sin motor)	7 900 kg
Cantidad de revoluciones	880 R/min

Alimentador vibratorio AV 85 (Tabla 14): 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 la máquina trabaje con régimen constante. Es indicado para material de tipo grava, de naturaleza aluvional.

Tabla 14. Características tecnológicas del alimentador vibratorio AV 85

Parámetros	Valor
Dimensiones de la boca de alimentación	800x400 mm
Tamaño de alimentación máxima	240 mm
Potencia necesaria	2x900 W
Caudal máximo	166 t/h
Peso	600

Cargador frontal marca LIUGONG modelo CLG-877-3 (Tabla 15): 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.

Tabla 15. Características tecnológicas del cargador frontal marca LIUGONG modelo CLG-877-3

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

3. Camión marca SINOTRUK modelo ZZ5707S3840AJ (Tabla 16): Se utilizan para transportar la materia prima desde el lugar de extracción a la planta de procesamiento.

Tabla 16. Características tecnológicas del camión marca SINOTRUK modelo ZZ5707S3840AJ

Parámetros	Valor
Capacidad de carga	15 m ³
Tipo de combustible	Diesel
Consumo de combustible	310 L/h
Pendiente máxima superable	10 %
Ancho	3,30 m
Longitud	8,60 m
Radio de giro	12 m
Disponibilidad mecánica	70 %
Velocidad de camión cargado	30 km/h
Velocidad del camión vacío	20 km/h

Grúa de izaje marca DIMACRO (Tabla 17): Se emplea para el montaje y desmontaje de los elementos constructivos de la planta.

Tabla 17. Características tecnológicas de la grúa de izaje DIMACRO

Parámetros	Valor
Capacidad	300 kg
Giro	3 600
Potencia	5 Hp
Tipo de movimiento	vertical
Motor	Eléctrico-trifásico

Bulldócer frontal marca XCMG modelo TY-230 (Tabla 18): Se empleará en excavaciones, vertido y extendido de materiales, desmontes roturación de terrenos y

otros trabajos análogos y como máquina auxiliar de los demás equipos de movimiento de tierra.

Tabla 18. Características tecnológicas del buldócer frontal marca XCMG modelo TY-230

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

Control del proceso

El control del proceso 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.

Punto de inspección 2: control de la abertura de trabajo de la trituradora de quijada, mediante el método de medición directa de muela a nivela tomando de cresta a valle y viceversa.

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 las pérdidas de aceite; asegurarse que el rodillo motor esté perpendicular a la banda y verificar la tensión de la cinta.

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.

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 (1 020 mm), teniendo en cuenta los requisitos que deben cumplir los áridos para mezclas asfálticas según la NC 759:2010.

Valoración económica del proyecto

Para la valoración económica de proyectos de procesamiento se reconocen 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 & Bhappu, 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; para lo cual se puede utilizar la expresión:

$$\frac{\text{Coste}_{\text{ahora}}}{\text{Coste}_{\text{pasado}}} = \frac{\text{Índice}_{\text{ahora}}}{\text{Índice}_{\text{pasado}}} \quad (21)$$

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.

El inconveniente de 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:

$$\frac{\text{Coste}_2}{\text{Coste}_{p1}} = \left(\frac{\text{Parámetro}_2}{\text{Parámetro}_1} \right)^{0,7} \quad (22)$$

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

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.

Gastos de inversión

En la Tabla 19 se muestran los costos previos a la inversión.

Tabla 19. Costos previos

Costos previos	Valor (USD)
Estudios de prefactibilidad	51 603
Tasas e impuestos	936

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

Costos de capital de los equipos principales

La Tabla 20 muestra los costos del equipamiento principal de la planta de procesamiento.

Tabla 20. Costos del equipamiento principal de la planta

Maquinaria	Cantidad	Coste unitario (USD)	Coste total (USD)
Camión SINOTRUK	3	180 000	540 000
Cargador frontal LIUGONG	1	280 000	280 000
Bulldócer frontal XCMG	1	280 000	280 000
Planta de trituración y selección	1	1 500 000	1 500 000
Instalación de equipos y obra civil		-	48 000
Total		2 240 000	26 480 000

Los gastos de inversión de la planta tienen un valor de 2 700 539 USD.

Gastos de explotación

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

1. Gasto de salario del personal. Se determinó según el salario mínimo mensual (1 218 CUP) establecido para trabajadores de minas y canteras, lo que hace un monto de 19 439 USD por año. En estos salarios se incluye el pago del 5 % de la seguridad social, que recibe el estado por parte de las empresas, de forma tal que se pueda contabilizar como gasto y se vea claramente.

2. Gastos en suministros

La Tabla 21 muestra la cantidad de combustible al año que consumen los equipos de transporte y carga; la energía que consume la planta se abastece de la red nacional.

Tabla 21. Gastos en suministros

Suministros	Coste Total (USD)
Energía eléctrica	243 000
Combustible para el transporte	2 645 370
Total	2 879 370

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 1 588 800 USD. El total de gastos de explotación es de 4 487 609 USD.

Gastos de capital de la planta

El costo de capital de la planta más un año de gastos da un valor aproximadamente de 7 188 148 USD, que debe ser el presupuesto a pedir al banco para la implementación de la planta de procesamiento (Tabla 22).

Tabla 22. Gastos de capital de la planta

Año	Gastos de inversión	Personal	Suministros	Mantenimiento	Total
0	2 700 539	0	0	0	
1	0	19 439	02 879 370	1 588 800	2 700 539
2	0	19 439	2 879 370	1 612 632	4 487 609
3	0	19 439	2 879 370	1 636 821	4 511 441
4	0	19 439	2 879 370	1 661 374	4 535 631
5	0	19 439	2 879 370	1 686 294	4 560 183
6	0	19 439	2 879 370	1 711 589	4 585 104

Ingresos por venta de productos

En la Tabla 23 se muestran los ingresos a partir de una producción de 124 800 m³/año de áridos, para una producción de 480 m³/día.

Tabla 23. Ingresos por venta de áridos

Fracción (mm)	Precio (m ³)	Producción anual (m ³)				
		1	2	3	4	5
Fracción 0-20	24,95	18 720	18 720	18 720	18 720	18 720
Fracción 0-4,76	24,95	43 680	43 680	43 680	43 680	43 680
Fracción 4,76-10	24,38	31 200	31 200	31 200	31 200	31 200
Fracción 10-20	24,32	31 200	31 200	31 200	31 200	31 200
Ingreso anual (USD)		3 076 320	3 076 320	3 076 320	3 076 320	3 076 320

Financiación de los productos

A partir del préstamo que se le debe pedir al banco (7 188 148 USD), se procede a la financiación. Se muestra la Tabla 24 con los principales indicadores de financiación, el interés que recibe el banco de un 7 %.

Tabla 24. Financiación de los productos

Año	1	2	3	4	5
Capital pendiente (USD)	7 188 148	5 750 518	4 312 889	2 875 259	1 437 630
Intereses (USD)	575 052	460 041	345 031	230 021	115 010
Amortizado (USD)	1 437 630	1 437 630	1 437 630	1 437 630	1 437 630
Cuota (USD)	2 012 681	1 897 671	1 782 661	1 667 650	1 552 640

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 tasa de rendimiento sobre un activo, la cual se determina calculando 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 generados 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. Después de este período los equipos deben de ser reparados o cambiados (Tabla 25).

Tabla 25. Análisis a partir de los criterios estadísticos

Criterios	Año					
	1	2	3	4	5	6
Ingreso	3 076 320	3 076 320	3 076 320	3 076 320	3 076 320	3 076 320
Gasto	4 487 609	4 511 441,28	4 535 630,76	4 560 183,082	4 585 103,689	4 610 833,225
Intereses	575 052	460 041	345 031	230 021	115 010	0
Beneficio Bruto	-3 977 463	-3 886 284	-3 795 463	-3 705 005	-3 614 916	1 534 513
Amortización equipo	540 108	540 108	540 108	540 108	540 108	540 108
Beneficio tras impuesto	4 517 570	-3 066 193	-3 007 159	-2 948 361	-2 889 803	997 434
Fondo generado	-3 977 463	-2 526 085	-2 467 051	-2 408 254	-2 349 695	1 534 513
Reemb. Crédito	1 437 630	1 437 630	1 437 630	1 437 630	1 437 630	1 437 630
Flujo de caja	-5 415 092	-3 963 714	-3 904 681	-3 845 883	-3 787 325	1 534 513
Flujo actualizado	4 708 775,9	2 997 137,566	2 567 391,044	2 198 896,158	1 882 969,769	663 412,4136

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

Conclusiones

Se analizan las características tecnológicas de la materia prima, lo cual permitió realizar el cálculo del esquema tecnológico, determinar los parámetros del proceso productivo y la elección del equipamiento para la planta de procesamiento.

La valoración económica del proyecto determina que con una inversión aproximada de 7 944 238 USD se obtiene un valor actual neto de 5.164.081 USD y una TIR del 20 %, en un periodo de recuperación de cinco años.

La evaluación financiera comprueba que la implementación del estudio es factible, ya que se obtuvo una VAN positiva, la tasa interna de retorno está por encima de la tasa de descuento y la relación beneficio-costos es mayor que la unidad por lo que el proyecto ofrece rentabilidad.

Referencias bibliográficas

BAIONI. 2016. *Manual de uso y mantenimiento para equipos de trituración y selección*. Crushing Plant SpA, p. 46.

BATISTA, R. 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.

DOS SANTOS, H. A. 2017. *Proyecto de explotación de la cantera Cerro Calera Bariay*. Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 95 p. Consultado: 15 mayo 2018. Disponible en: <http://ninive.ismm.edu.cu/bitstream/handle/123456789/2071/arsenio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ENIA. 2018. Informe técnico actualizado de árido grueso para especificaciones en el hormigón. p. 1-50.

MULAR, A. L. & BHAPPU, R. B. 1980. *Diseño de plantas de proceso de minerales*. Nueva York.

NALUZIATH, C. 2016. Diagnóstico tecnológico de la cantera de áridos Los Caliches en la provincia de Holguín. *Ciencia & Futuro* 6(3): 1-19.

OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (ONN). 2002. NC: 187: Áridos gruesos. Peso específico y absorción del agua. Método de ensayo. La Habana.

OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (ONN). 2002. NC: 188: Áridos gruesos. Abrasión. Método de ensayo. La Habana.

OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (ONN). 2002. NC: 189: Áridos gruesos. Determinación de las partículas planas y alargadas. Método de ensayo. La Habana.

OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (ONN). 2002. NC: 190: Áridos gruesos. Determinación del índice de triturabilidad. Método de ensayo. La Habana.

OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (ONN). 2010. NC: 759: Áridos para mezclas asfálticas. Requisitos. La Habana.

RÁZUMOV, K. A. & PEROV, V. A. 1982. *Proyectos de fábricas de preparación de minerales*. Mir, Moscú.

VEGA, L. 2015. Elección del método de arranque de las rocas en la cantera de áridos Los Caliches. *Ciencia & Futuro* 5(2): 1-16.