

PROPUESTA DE ESQUEMA TECNOLÓGICO DE PREPARACIÓN MECÁNICA DE ROCAS TOBÁCEAS COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

**Trabajo de diploma en opción al Título de Ingeniero en
Metalurgia y Materiales**

Hortencio Lopes Bento Ricueno

Moa 2019

PROPUESTA DE ESQUEMA TECNOLÓGICO DE PREPARACIÓN MECÁNICA DE ROCAS TOBÁCEAS COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

**Trabajo de diploma en opción al Título de Ingeniero en
Metalurgia y Materiales**

Autor: Hortencio Lopes Bento Ricueno

FIRMA.....

Tutores: Dr.C. Pedro Enrique Beyris Mazar

FIRMA.....

Dr.C. Roger Samuel Almenares Reyes

FIRMA.....

Moa 2019

DECLARACIÓN DE AUTORIA

Yo: Hortencio Lopes Bento Rícueno

Autor de este trabajo de diploma y los tutores, Dr.C. Pedro Enrique Beyrís Mazar y Dr.C. Roger Samuel Almenares Reyes declaramos la propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

Hortencio Lopes Bento Rícueno

Dr.C. Pedro Enrique Beyrís Mazar

Dr.C. Roger Samuel Almenares Reyes

PENSAMIENTO

Que te importe más tu carácter que tu reputación; porque tu carácter es lo que realmente eres, mientras que tu reputación es meramente lo que otros piensan de tí.



John Wooden

Un compañero verdadero ama en todo tiempo y es un hermano nacido para cuando hay angustia.

Proverbios 17:17

DEDICATORIA

A mis padres Bento Rícueno y Suzana Chitoma Lopes por su educación, amor y comprensión; además por siempre creer en mí.

A mis hermanos y mis hermanas.

A mis Abuelas Natito y Juana.

A mi novia Virgen Batista Samé

A todos mis amigos y compañeros del grupo que siempre estuvieron presentes en el transcurso de estos seis años.

AGRADECIMIENTOS.

Quisiera expresar los más profundos agradecimientos a todas aquellas personas que de una forma u otra colaboraron en mi formación y en la realización de este trabajo.

- A mis padres Bento Rícueno y Suzana Chítoma Lopes, que siempre confiaron en mí, por su esfuerzo y su apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida, y también por haberme guiado por el camino correcto.*
- A mis hermanos, mis hermanas por haberme apoyado tanto con esta ardua tarea.*
- A mis compañeros de aula, a todos gracias por brindarme todo su apoyo y dedicación durante estos seis años de estudio.*
- A mi novia Virgen Yamiskie Batista Samé por su incalculable ayuda y confianza y a su mamá por acogerme como un hijo, y a toda su familia por la atención que me brindaron.*
- A mis tutores Dr.C. Pedro Enrique Beyris Mazar, Dr.C. Roger Samuel Almenares Reyes, por haber sido la fuente de donde surgió este trabajo y por la confianza que han depositado y por haberme guiado en el transcurso para la realización del mismo.*
- Al claustro de profesores del Departamento de Metalurgia Química por su entrega y dedicación en cada una de las clases impartidas en el transcurso de todos estos años. En particular a los profesores de los cuales he tenido el placer de nutrirme de sus conocimientos.*

Por favor, son tantos a los que agradecer, aunque no los mencione en estas líneas. Sepan que les estoy agradecido por siempre.

A todos muchas Gracias.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo proponer un esquema tecnológico para la preparación mecánica de rocas tobáceas como materiales de construcción. Se realizó una caracterización de las propiedades físico – mecánicas de los materiales tobáceos del yacimiento Sagua de Tánamo como punto de partida para el cálculo del esquema. La propuesta del esquema tecnológico se realizó mediante la metodología de cálculo y elección de los esquemas tecnológicos según Razumov y Perov. El cálculo y elección de las cribas se llevó a cabo mediante una combinación del método de Andréiev, Perov y Zverievich, y el método híbrido de Bousso. Se propuso un esquema de tipo BA con dos etapas de trituración y dos de cribado, el cual permite la obtención de productos de materiales de construcción de alta demanda. El costo del equipamiento a emplear en el esquema tecnológico fue de 132029,79 USD. Se evaluaron las medidas de seguridad, el plan de mantenimiento, el impacto ambiental producido por la actividad de la preparación mecánica y se propuso medidas de mitigación de impacto.

Palabras claves: Proyecto, esquema tecnológico, preparación mecánica, tobas

ABSTRACT

The objective of this work is to propose a technological scheme for the mechanical preparation of tobaceous rocks as building materials. A characterization of the physical - mechanical properties of the tobaceous materials of the Sagua de Tanamo deposit was made as a starting point for the calculation of the scheme. The proposal of the technological scheme was made using the methodology of calculation and choice of the technological schemes according to Razumov and Perov. The calculation and selection of the screens was carried out by a combination of the Andréiev method, Perov and Zverievich, and the hybrid method of Bouso. A BA type scheme with two crushing stages and two screening stages was proposed, which allows obtaining high demand construction material products. The cost of the equipment to be used in the technological scheme was 132029.79 USD. The safety measures, the maintenance plan, the environmental impact produced by the mechanical preparation activity were evaluated and impact mitigation measures were proposed.

Keywords: Project, technological scheme, mechanical preparation, tufas

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	3
1.1 Estado del Arte.	3
1.2 Generalidad	8
1.3. Tobas vítreas	9
1.4. Áridos. Principales Tipos de Áridos	11
1.4.1- Los áridos en el hormigón y mortero	11
1.5. Importancia económica de las tobas.....	13
Conclusiones parciales	14
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	15
2.1. Descripción del depósito	15
2.2. Características de los materiales tobáceos presentes en el yacimiento de Sagua de Tánamo.	15
2.2.1 Caracterización mineralogía de las tobas.....	16
2.2.2. Características Químicas.....	17
2.2.3. Características físico mecánicas	18
2.3. Esquemas tecnológicos para la preparación mecánica	18
2.4. Factores que influyen en la creación del proyecto	19
2.5. Reglas para elegir los esquemas de trituración	21
2.6. Principios generales para la elección y el cálculo tecnológico del equipamiento.	22
2.6.1. Elecciones de los equipos utilizados en la preparación mecánica de minerales.	23
2.7. Fragmentación de materiales duros y de dureza media.	23
2.8. Metodología de cálculo para la planta de preparación mecánica	24
2.8.1. Proceso de trituración	25
2.8.2 Cálculo del flujo másico del material que se alimenta en una hora (Q, t/h)	25
2.8.3. Definición del grado total de trituración.....	25
2.8.4. Cálculo del diámetro máximo convencional de los productos triturados	26

2.8.5. Cálculo del diámetro máximo de la boca de la salida de la trituradora .	26
2.8.6. Cálculo de los coeficientes de reservas de las trituradoras seleccionadas.....	27
2.8.7. Cálculo de las capacidades de los productos de la primera etapa de trituration.....	28
2.8.8. Cálculo de las capacidades de los productos de la segunda da etapa de trituration.....	28
2.9. Cálculo y elección de las cribas	29
2.10. Cálculo de la criba triple.....	29
2.10.1. Cálculo del ancho de la malla	29
Conclusiones parciales	31
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	32
3.1. Cálculo del flujo masivo del material que se alimenta por hora. (Q, t/h)	33
3.2. Se Determina el grado total de trituration.....	33
3.3. Diámetro máximo convencional de los productos.....	34
3.3.1. Diámetro máximo de la boca de la salida de la trituradora	34
3.3.2. Cálculo de los coeficientes de reservas de las trituradoras seleccionadas	37
3.3.3. Cálculo de precisado del esquema	38
3.4. Balance material de la planta de preparación mecánica.....	39
3.4.1. Cálculo de las capacidades de los productos de la primera etapa de trituration.....	39
3.4.2. Cálculo de las capacidades de los productos de la segunda da etapa de trituration.....	40
3.5. Cálculo del cribado	42
3.5.1. Cálculo de criba de la primera etapa	43
3.5.2. Cálculo de criba de la segunda etapa.....	45
3.5.3. Cálculo del ancho de las mallas	46
3.5.4. Cálculo de la superficie de la criba	46
3.5.5. Cálculo ancho y longitud de la criba	47
3.6. Medidas de seguridad industrial y el impacto ambiental.....	48
3.7. Seguridad Industrial	49

3.7.1. Medidas de seguridad a tomar en la planta de procesamiento	49
3.8. Medio Ambiente	52
3.8.1. Impacto ambiental producido por la actividad de procesamiento	52
3.8.2. Medidas de mitigación	53
3.9. Cálculo de los costos de los equipos	54
3.9.1. Cálculo de los costos de las trituradoras elegidas	54
3.9.2. Primera etapa de trituración	55
3.9.3. Segunda etapa de trituración.....	55
3.9.4. Gasto total de las trituradoras seleccionadas	56
3.9.5. Cálculo del Costo de las cribas	56
3.9.6. Gasto total de los equipos instalados	56
CONCLUSIONES	58
RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFIA	60

INTRODUCCIÓN

Las tobas se utilizan principalmente en la producción de diversos materiales para la construcción. En los trabajos previos relacionados con la temática en cuestión, los investigadores (Morales Serrano 2017; Salas 2013; De Armas 2008; Pérez Montero 2011; Pérez Rodríguez 2011) confirmaron la utilización de las tobas en la producción de estos materiales, entre ellos, materiales puzolánicos, áridos, materiales cementicios suplementarios y otros, teniendo en cuenta las virtudes de estos materiales que la naturaleza ofrece.

Las tobas a nivel mundial son algunos de los materiales que han sido empleadas como materia prima para tallar figuras ornamentales y como retenedores de la humedad y arreadores de suelos en la agricultura. De acuerdo a las características geológicas existe una amplia disponibilidad en Cuba y particularmente en la provincia Holguín de materiales tobáceos entre ellos se encuentra las tobas vítreas y zeolitizadas las cuales han sido previamente estudiadas como materiales puzolánicos con resultados satisfactorios. En la mayoría de los casos, su utilización ha estado limitada, en parte, por el bajo grado de los estudios que avalen su utilización, la baja reactividad puzolánicas no permite elevados niveles de sustitución en el aglomerante. Sin embargo, se han obtenido resultados satisfactorios cuando se aplica a nivel local y/o territorial (Morales Serrano 2017).

Generalmente en Cuba las tobas se utilizan en las industrias cementeras de diferentes materiales de construcción además de otros estudios realizados para su utilización como material filtrante y polvo limpiador. La situación económica del país junto al encarecimiento de la mayoría de los materiales utilizados en la construcción, hacen necesario la búsqueda de materiales alternativos que redunden en una mejor economía en la sustitución de estos tipos de materiales (Pérez Rodríguez 2011). Sin embargo, a pesar de las perspectivas de estas materias primas no se conoce una planta con esquema tecnológico que permita obtener los diferentes productos que se utilizan como materiales de construcción,

razón por la cual este trabajo tiene la intención de proponer un esquema con este objetivo.

Problema de la investigación

La necesidad de proponer un esquema tecnológico para la preparación de minerales tobáceas como materiales de construcción.

Objeto de estudio: Esquema tecnológico para la preparación de tobas como materiales de construcción.

Objetivo general: Proponer un esquema tecnológico para la preparación mecánica de rocas tobáceas como materiales de construcción.

Campo de acción: Cálculo y selección del equipamiento para la preparación de rocas tobáceas para materiales de construcción.

Objetivos específicos:

- Caracterizar las rocas tobáceas del yacimiento “Sagua de Tánamo” para su posible utilización como materiales de construcción.
- Calcular y elegir el equipamiento del esquema tecnológico para la producción de materiales de construcción.
- Realizar la valoración técnica-económica del equipamiento seleccionado para el esquema tecnológico para la preparación mecánica de los materiales tobáceos.
- Proponer medidas de seguridad industrial y de mitigación de impacto ambiental para la planta de preparación de los materiales tobáceos proyectada.

Hipótesis: Si se conocen las características físico-mecánicas del material tobáceo del yacimiento “Sagua de Tánamo”, entonces se podrá proponer un esquema tecnológico que permita la preparación del mineral para la producción de materiales de construcción.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

En el presente capítulo se realiza un análisis sobre los diferentes aspectos que se encuentran relacionados con los materiales de construcción específicamente las tobas vítreas, con el objetivo de disponer de los elementos necesarios y de las tendencias actuales para el desarrollo del trabajo. Se expone el estado del arte, la conceptualización y consideraciones teóricas sobre los materiales en cuestión, su importancia económica y tecnológica.

1.1 Estado del Arte.

De acuerdo a las investigaciones realizadas, se observa lo siguiente:

Muxlhangha (Muxlhangha 2009), en su trabajo investigó la evaluación de las tobas vítreas del yacimiento de Sagua de Tánamo para su utilización como árido y puzolana natural en la construcción, donde se aborda que las tobas vítreas tienen gran utilización a nivel mundial al tener diferentes aplicaciones, se realizaron diferentes ensayos de resistencia y de granulometría, se utiliza un triturador de mandíbula para disminuir el tamaño del material y también un molino de bolas con el objetivo de disminuir aún más el tamaño de las partículas para obtener resultados favorables como puzolana, pero no llegó a utilizarlo como árido.

Pérez Montero (Pérez Montero 2011), en su trabajo determina los valores de las funciones de fragmentación para el proceso de molienda de las tobas vítreas del yacimiento de Sagua de Tánamo, la investigación se realizó escala de laboratorio, donde se determinó la composición granulométrica del material por medio de análisis de tamiz por vía seca y húmeda. Se realizó el cálculo de las bolas que garanticen el rendimiento máximo del molino, donde la característica granulométrica del material se ajusta al modelo Rozin – Rammler. La cinética de molienda sigue las regularidades típicas de materiales rocosos. Como principales resultados la función de distribución de fragmentación sigue tendencias similares a las reportadas por Coello en 2008 y la función de selección se incrementa con el aumento de las clases hasta un tamaño de partícula de 0,6 mm.

Pérez Rodríguez (Pérez Rodríguez 2011) evalúa las tobas vítreas y zeolitizadas de la provincia Holguín para su utilización como puzolana natural en la construcción, basándose en la caracterización química, granulométrica y en la determinación de la resistencia a la flexotracción y a la compresión de morteros elaborados con adiciones de 15 % de material tobáceo como sustituto del cemento portland a partir de los métodos indicados en las normas para tales especificaciones para su posible utilización como puzolana natural en la construcción. Para obtener resultados deseados los materiales fueron triturados, molidos y cribados obteniendo las condiciones granulométricas adecuadas para la elaboración de los morteros, lo que permitió determinar que morteros elaborados con adiciones de 15 % de tobas vítreas y zeolitizadas poseen un índice de puzolanidad a los 7 y 28 días de ensayados superior a 75 %, el contenido de los óxidos de silicio, aluminio e hierro supera el 70 % y la cantidad de material retenido en el tamiz con tamaño de 0,045 mm en el cribado por vía húmeda es inferior a 34 %, lo cual demuestra la idoneidad de los materiales evaluados en esta investigación para su empleo en la industria de materiales de construcción. Concluyó también que todos los materiales analizados cumplen con los requerimientos evaluados para la utilización de materiales como puzolana natural.

Jiménez García (Jimenez Garcia 2017) caracterizó la puzolanidad de las Tobas Zeolitizadas de Caimanes y Vítreas de Sagua de Tánamo para fabricar materiales de pequeño formato para la construcción, evaluó las perspectivas de su utilización como puzolanas naturales, según los parámetros de calidad normalizados, al sustituir el 15 % del volumen de Cemento Pórtland, a parte determino el índice de actividad puzolánica a través de los ensayos de resistencia a la compresión a partir del método indicado en las normas para tales especificaciones. Lo que permitió determinar que estos materiales, poseen perspectivas para su utilización como aditivo puzolánico, al ser utilizados en sustitución de un 15 % de cemento Portland para la fabricación de bloques huecos de hormigón.

Guillén (Guillén 2013) determina las propiedades puzolánicas de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo, los cuales fueron calcinadas a las temperaturas

de 450, 600 y 750 °C para evaluar las perspectivas de su utilización como adición mineral, al sustituir el cemento Portland con 30 % del material tobáceo calcinado. Además, se realizó una comparación entre los resultados obtenidos al emplear material tobáceo calcinado y natural, lo que permitió determinar que estos materiales, poseen perspectivas para su utilización como aditivo puzolánico activo, donde los mejores resultados fueron alcanzados, por las tobas calcinadas a 750°C.

Salas (Salas 2013) caracteriza la minería artesanal en Cuba y perspectivas de las tobas vítreas en la provincia de Holguín, donde la diversidad de aplicaciones ya probadas de las tobas vítreas, y otras en etapas de investigaciones, junto a la posibilidad de lograr un arranque de esta roca con técnicas de pala y/o escarificador, hacen que esta materia prima posea una gran perspectiva de potenciar la minería artesanal en los municipios, especialmente como materiales de construcción, principalmente como extensor del cemento portland y para la obtención de bloques naturales de pared.

López (López 2006) realizó la Caracterización geológica de las materias prima minerales de los Municipios Moa – Sagua de Tánamo para su empleo como materiales de construcción. Se realizaron diferentes tipos de trabajos de campo mediante itinerarios geológicos para la documentación y muestreo de los afloramientos de las manifestaciones de las materias primas de mayor importancia. Las materias primas investigadas con mayor grado de estudio fueron las serpentinitas y tobas vitroclásticas las cuales fueron sometidas a ensayos mineralógicos y de propiedades físico mecánicas. También se añaden los resultados de otras materias primas existentes en el territorio con perspectivas de empleo como son: gravas, arenas y calizas y como principales resultados de las investigaciones realizadas se proponen que las materias primas investigadas pueden ser empleadas para diferentes fines como materiales de construcción alternativos.

Montero (Montero 2012) realizó la separación de la montmorillonita de las tobas vítreas, para ello primeramente se hizo un análisis granulométrico del material al pasar por dos etapas de trituración y una de molienda. Para ello se realizó una preparación mecánica del mineral de estudio a través de tamizado, trituración y molienda y separación utilizando el método de Elutración. Los productos de este fueron sometidos a análisis químico por el método de ICP para determinar su composición química y conocer en qué medida se separan los granos de montmorillonita de la roca vitroplástica. Como resultado de la investigación se obtuvo que la montmorillonita no se separa de las rocas vitroplásticas de forma eficiente con el método de elutración.

Richardson (Richardson 2008), en su trabajo de diploma sobre, "beneficio de las tobas básicas de Farallones de Moa para la concentración de fases zeolíticas", las cuales se caracterizan por presentar una coloración carmelita clara y contener además de la palagonita, zeolitas. A estas rocas se le realizó una caracterización mineralógica con el objetivo de determinar las fases zeolíticas presentes en ellas, para ello se emplearon las técnicas de difracción de rayos X, la microscopia electrónica de barrido y la microscopia óptica. Se diseñó un sistema de beneficio mediante la trituración, la separación magnética por vía seca y la separación densométrica. Como resultado de la caracterización mineralógica se estableció la presencia de la zeolita chabacita, hasta ahora no reportada para la zona Farallones. Producto de la separación electromagnética se logró una fracción no magnética enriquecida en zeolitas para una corriente de trabajo de 6 A.

Tamayo (Tamayo 2016) evaluó la influencia de la secuencia de preparación de las tobas vítreas del yacimiento de Sagua de Tánamo sobre la reactividad puzolánica. Se caracterizó desde el punto de vista químico y mineralógico el material vítreo natural, a través de Fluorescencia de Rayos X, Difracción de Rayos X, Microscopia electrónica de barrido y el material calcinado mediante Análisis de Tamaño de Partículas y Área Superficial. La evaluación de la reactividad

puzolánica a partir de la determinación del índice de actividad resistente en sistemas triturado - calcinado- molido y triturado - molido - calcinado, mostraron que todos los materiales ensayados se comportan como material puzolánico al ser activados a 700 y 850°C.

Giralt y Téllez (Giralt y Tellez 2006), en su trabajo de diploma determinó los principales parámetros físico-mecánicos para la propuesta de futuras variantes tecnológicas de la molienda del vidrio volcánico, ubicado en Sagua de Tánamo. Realizó los estudios cinéticos de una amplia gama de clases granulométricas. El índice de Bond junto a las funciones de distribución de fractura y de selección fue determinado por los procedimientos establecidos. La composición granulométrica de los productos se determinó en este trabajo mediante el análisis de tamizado el cual se realiza por vía seco-húmedo. El índice de trabajo del material resultó de 13,62 Kwh/st o sea; 15,01 Kwh/t.

Frazao (Frazao-Ndumba y Coello-velázquez 2007), en su trabajo, "Beneficio de las zeolitas naturales del yacimiento Caimanes de Moa", realiza una caracterización mineralógica de estas tobas de coloración verde que contienen como impureza principal el cuarzo, con vistas a beneficiar y concentrar la fase zeolítica mediante la molienda diferencial. Donde él emplea técnicas de difracción de rayos X, análisis químico, análisis térmicos, microscopia óptica y microscopia electrónica de barrido para determinar, en la muestra inicial, la composición mineralógica cualitativa y cuantificar las fases presentes, establecer la textura, el grado de intercrecimiento y el tamaño de los granos.

Díaz Álvarez (Díaz Alvarez 2014), evalúa la mezcla de arcillas con adición de tobas vítreas, para su posible utilización en la Industria de Materiales de la Construcción, utilizando esta como aditivo para los ladrillos de barro; a partir de sus propiedades físico-mecánicas. Para ello, se caracterizan los materiales de acuerdo a su composición química y sus propiedades físicas. Se elaboraron 36 probetas de las cuales se hicieron 9 con un contenido de arcilla solamente y las restantes con 10, 15 y 20 % de aditivo tobas vítreas respectivamente, las cuales

se sometieron a ensayos de contracción natural, peso, absorción de agua y resistencia a la compresión mecánica para determinar el comportamiento físico mecánico en cada una de las probetas durante todo el paquete tecnológico. Comprobando que la más eficiente es la que se le añadió un 10% de aditivo, porque absorbe mayor cantidad de agua y es más resistente a la compresión, por lo tanto, el ladrillo presenta una vida útil más larga. Similares resultados obtuvo Díaz Sánchez (Díaz-Sánchez 2011) en su investigación.

Llevat (Llevat 2018), en su trabajo, elabora 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. Realizó el cálculo del esquema tecnológico, se determinaron los parámetros del proceso productivo y se eligió el equipamiento para la planta. Plantea 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. Este es uno de los trabajos que se puede tomar como ejemplo para la elaboración de proyectos similares a este.

1.2 Generalidad

La Naturaleza Geológica del archipiélago cubano, ha contribuido a la presencia de una gran variedad de depósitos minerales de las nombradas Rocas y Minerales Industriales (RMI) o Minerales No – Metálicos, donde Cuba cuenta con importante potencial de recursos minerales en particular de RMI, sostén de importantes industrias. Las RMI, son materias minerales de elevada importancia para el desarrollo económico – social de cualquier estado moderno, vitales en primer lugar para las industrias de los materiales de la construcción (Batista et al. 2009; Batista, García y González 2010; Batista 2011).

Holguín es uno de los territorios más poblados del país. Del total de viviendas un alto porcentaje se encuentra en mal estado (cerca de un 40 %). El nivel de construcciones de vivienda es uno de los más altos del país (Batista 2011, 2007).

Las tobas vítreas que se encuentran en los yacimientos de la provincia de Holguín presentan un alto contenido de acidez ya que el óxido de silicio se encuentra en un 85 %, presenta un bajo contenido de arcilla excepto en las tobas del yacimiento Sagua de Tánamo, esto se pudo determinar al realizar una caracterización granulométrica. Se utilizan para sustitución el 30 % del cemento por material tobáceo y los morteros obtenidos cuentan con la resistencia suficiente para que puedan utilizarla en la albañilería, también se realiza al material una sustitución de un 15 % de material tobáceo, aunque no se obtienen los resultados esperados por no cumplir con la resistencia necesaria para ser utilizados en ladrillos de albañilería.

1.3. Tobas vítreas

Las tobas vítreas en Cuba son de origen volcano-sedimentario, son tobas de composición ácida, de color gris o cremoso, muy poroso, predominan las tobas de grano fino y medio, en ocasiones algo alteradas a montmorillonita, o a carbonato, e interestratificadas con calizas silicificadas. Las investigaciones realizadas para su empleo en las industrias de construcción, se ha comprobado que pueden ser utilizadas como:

- Aislante térmico en la industria cerámica y en otras industrias como el níquel
- Material filtrante en la purificación de acetileno
- Lozas antiácidas
- Medio filtrante en la planta de cloro sosa
- Relleno de plástico
- Filtrante de cerveza, jugo de henequén, ron y vino
- Decapado de metales
- Medio filtrante en la industria azucarera

- Floculante en la potabilización de aguas superficiales
- Limpiador doméstico
- Como material puzolánico para cemento romano

Desde el inicio de las investigaciones de las tobas, solo cuatro depósitos han sido llevados al máximo grado de estudio en Guantánamo, Granma, Holguín y Matanzas. No obstante, por su comportamiento físico - químico y por la extensa área que ocupan estas rocas (Morales Serrano 2017), el vidrio volcánico es otro material de los minerales tobáceos, que se constituyen de vidrio en forma de espuma y que se forman durante un enfriamiento muy rápido de un magma ascendente de alta viscosidad. Estos son muy característicos de las vulcanitas claras y ácidas, como por ejemplo de la riolita, y por ello son de color blanco grisáceo hasta amarillento, raramente de color café o gris. La dureza varía de 5 – 6 en la escala de Mohs, aunque de dureza media, debido a su alta friabilidad el poder abrasivo es muy bajo, produciendo un efecto muy suave sobre la superficie. Su textura es esponjosa o espumosa; de color ceniza, amarillento; de brillo sedoso.

Basados en el ejemplo de los romanos, los europeos han utilizado el vidrio volcánico a lo largo de los dos últimos milenios en el concreto ligero y en bloques. Sería imposible listar todas las aplicaciones de abrasivos, pero quedan incluidos limpiadores (desde jabones de mano a limpiadores de metal y vidrio), cosméticos (agente exfoliante) y compuestos dentales (pulido de dientes y pasta profiláctica, un compuesto de limpieza dental). Es usado para el acabado en metales, vidrio, paneles, pantallas de televisión y otros. El vidrio volcánico, en su forma más burda, ha sido usado siempre en pinturas antiderrapantes, así como en recubrimientos. Las tobas vítreas son la materia prima ideal para el material de un buen muro, porque es porosa, ligera, dura (relativo a la solidez del grano) y no inflamable.

1.4. Áridos. Principales Tipos de Áridos

Áridos: son materiales granulados que se utiliza como materia prima en la construcción principalmente. El árido se diferencia de otros materiales por su estabilidad química y su resistencia mecánica, y se caracteriza por su tamaño. No se consideran como árido aquellas sustancias minerales utilizadas como materias primas en procesos industriales debido a su composición química.

Existen diversas clasificaciones de los áridos, siendo las más empleadas las que los agrupan según su origen y tamaño. Los áridos según su origen se clasifican en artificiales y naturales; y según su tamaño en finos y gruesos.

Por la importancia que tiene para el presente trabajo se detalla más en relación a los posibles orígenes de los áridos.

- **Áridos naturales:** se obtienen producto de la descomposición o trituración de las rocas. La descomposición o meteorización de las rocas se produce por la acción de los agentes naturales como: agua, viento, temperatura, clima, fauna y flora, que con el tiempo van descomponiendo la roca en granos de pequeños tamaños. Muchas veces los tamaños de estos granos son los que usualmente se emplean en la confección de morteros y hormigones, por ejemplo: arena de mar, arena de río, gravas, etcétera.

Otro proceso para la obtención de áridos naturales es la trituración. Es un método artificial, por medio de trituradores se reducen las rocas sólidas, hasta alcanzar los tamaños adecuados, clasificándolos según sea su destino final.

- **Áridos artificiales:** Se preparan con productos diversos en estado pulverulento o pastoso, para comunicarles fácilmente la forma y se endurece por proceso físico-químicos como ejemplo: escoria, ladrillo triturado, pizarra dilatada.

1.4.1- Los áridos en el hormigón y mortero

De las bibliografías consultadas (Muxlhanga 2009; Llevat 2018), plantean que las propiedades deseables de un árido para utilizarlo en hormigón son: que sea químicamente inerte, duradero, duro, resistente a los esfuerzos mecánicos, de

forma aproximadamente cúbica después de triturado y capaz de dar una buena adherencia con la pasta de cemento.

Químicamente los áridos deben ser inertes, pero lamentablemente muchos áridos naturales contienen sustancias nocivas al hormigón o mortero. Se puede clasificar las sustancias nocivas químicamente en cuatro grupos:

- Sustancias solubles en agua que pueden causar la lixiviación del árido debilitándolo o provocando eflorescencia en el hormigón. Ejemplo: sal común (NaCl)
- Sustancias solubles que pueden interferir el fraguado del aglomerante y la hidratación posterior. Ejemplo: yeso
- Sustancias que pueden reaccionar con los constituyentes alcalinos. (Na_2O , K_2O , etc.) de los cementos. Ejemplo: ópalo
- Sustancias que puedan causar la corrosión del acero de refuerzo. Ejemplo: la sal común, sulfuros (Pirita).

Debe notarse también que los áridos pueden ser inertes por si mismos, pero pueden contener incrustaciones, o estar cubiertos con una película de materiales dañinos, estas películas naturales pueden estar compuestas de los siguientes materiales: limos, arcilla, yesos, carbonatos impuros de calcio y magnesio, sílice opalina, óxido de magnesio, óxido de hierro y mezcla de estos materiales.

Las propiedades físicas y mecánicas de los áridos naturales deben ser consideradas en función de su resistencia a la compresión, es conveniente que las rocas utilizadas para la fabricación de áridos presente un mínimo de resistencia a la compresión debido a que la misma sirve de índice de otras propiedades físicas y mecánicas. No obstante, a emplearse la resistencia a la compresión de los áridos como un índice de su calidad, no debe plantearse como una limitante en la aceptación del árido; debido a que su valor en relación con la eficiencia del árido en el hormigón es muy pequeño.

La mayor parte de las propiedades de los áridos son atribuidas directamente a los componentes de las rocas, esta propiedad depende en gran medida del proceso tecnológico utilizado para la fabricación del árido. Algunas otras propiedades que pueden tener importancia son: Peso específico, propiedades térmicas, resistencia a la abrasión, granulometría, entre otras.

Los áridos utilizados en los hormigones se pueden distinguir dos tipos de granulometría. Granulometría continua, es aquella en que aparecen partículas de áridos de diferentes tamaños, y granulometría discontinua, es aquella en que se omiten ciertos tamaños de las partículas de los áridos. En el hormigón se emplean partículas de áridos a partir de un tamaño de 0, 1 mm o menos, hasta un tamaño que sea compatible con la dimensión del elemento, y la cantidad y espaciamiento de refuerzo.

1.5. Importancia económica de las tobas

Cuba cuenta con recursos prospectados por más de 500 millones de toneladas, en varios yacimientos con distintos grados de estudio, distribuidos por toda la isla, de tobas alteradas, tobas vítreas (vidrio volcánico) y tobas zeolitizadas; con perspectivas de ser explotadas como puzolanas, además, el país cuenta con varias centenas de millones de toneladas en recursos pronósticos de tobas vítreas, que necesitan de estudios más detallados para avalar su uso como puzolanas (De Armas 2008).

Hoy en el mundo se ha notado escasez de material de construcción debido al aumento considerable de su utilización, elevado costo y otros factores que se presentan localmente. En Cuba, debido a la acción de los fenómenos naturales como los ciclones, se han perdido anualmente numerosas viviendas lo que obliga a la investigación de otros áridos, motivando así al estudio de rocas como tobas vítreas, tobas zeolitizadas, serpentinitas y otras, como materias prima de elevada importancia para el desarrollo económico – social de cualquier estado moderno, vitales en primer lugar para las industrias de los materiales de la construcción (cementos, áridos, cerámicas, pinturas, decorativo, etc.).En otras producciones

como la agropecuaria, alimenticia, plásticos, gomas, papel, medicamentos, jabonería, cosméticos, química, metalurgia, vidrio, etc. contribuyen de manera notable a su desarrollo. En general ellas están presentes en cada momento de nuestro avance social, lo que lleva el desenvolvimiento del país y el crecimiento de la economía del país.

Conclusiones parciales

De acuerdo a los trabajos consultados llegue a la siguiente conclusión:

- Existe diversidad de trabajo que estudiaron los minerales tobáceos, sin embargo en ninguno se muestra la propuesta de un esquema tecnológico de preparación de los materiales tobáceos para su utilización como materiales de construcción.

CAPÍTULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La selección de los métodos y de los materiales es muy importante en todo trabajo investigativo, para garantizar su desarrollo eficaz y la veracidad de los resultados, basado fundamentalmente en la toma y preparación de las muestras, la determinación de los parámetros de la función de distribución y de preparación del mineral.

2.1. Descripción del depósito

A continuación, se muestra información referente a las condiciones geológicas y de formación del depósito, así como sus características geográficas más destacadas. Los datos representados se han obtenido de investigaciones precedentes en las áreas de estudio.

2.2. Características de los materiales tobáceos presentes en el yacimiento de Sagua de Tánamo.

En el presente acápite se describen las características generales de las tobas objeto de estudio, a partir de los reportes de investigaciones geológicas realizadas (Guillén 2013).

El material tobáceo del yacimiento Sagua de Tánamo se caracteriza por ser vitroclástico y vitrocristaloclastico, son de color blanco grisáceo, de grano fino a media, generalmente abrasivas al tacto, porosa, ácidas, conteniendo vidrio volcánico superior a 50 %.

La formación genética del yacimiento es el resultado de la acumulación de cenizas volcánicas depositadas al parecer en cuencas marinas de mares someros y tranquilos (se detectaron restos de microorganismos) (Guillén 2013).

La Figura 1 muestra la ubicación geográfica de las áreas de estudio.



. Leyenda:



Yacimientos

Figura 1. Mapa de ubicación geográfica. Fuente: Jiménez 2017

2.2.1 Caracterización mineralogía de las tobas

De los análisis realizados por los investigadores tales como (Salas 2013; Guillén 2013), plantean que las tobas del yacimiento de Sagua de Tánamo, mineralógicamente están constituidas esencialmente por vidrio volcánico y motmorillonita, subordinadamente, aunque en bajos porcentajes, calcita, cuarzo y feldespatos. Vidrio Volcánico: contenido mínimo de 54,2 %, máximo 80 %. El contenido de montmorillonita está en rango de 39,8 % y 16,1%.

En la tabla 2.1 se muestran los porcentajes de la matriz vítrea, así como el contenido de arcilla y las principales fases mineralógicas cristalinas presentes en estas tobas. Se observa que se destaca el alto contenido de arcilla que presentan las tobas de Sagua de Tánamo.

Tabla 2.1. Características mineralógicas de los materiales tobáceos estudiados.

Fuente: (Almenares-Reyes 2011)

Material puzolánico	Matriz vítrea, %	Contenido de arcilla, en %	Principales fases cristalinas
Tobas vítreas Sagua de Tánamo	54 – 80	16 - 39	Albita, anortita, hematina, ortoclasa, cuarzo, X- magnesio, montmorillonita

2.2.2. Características Químicas

Las tobas vitroclásticas y vitrocrystaloclastica de este yacimiento son rocas de composición ácida con alto contenido de SiO_2 . Los valores del contenido de $CaCO_3$ se comportan generalmente por debajo del límite permisible. Los elementos nocivos F, Hg, Cd, se comportan muy por debajo de los límites de tolerancia

La composición química de las tobas empleadas, determinada a partir del método Fluorescencia de rayos X (FRX) se presenta en la tabla 2.2.

Se aprecia que los compuestos que aparecen como constituyentes son: en mayores cantidades óxido de silicio y óxido de aluminio, con composición media el óxido de hierro III, óxido de calcio y en menores cantidades óxidos de sodio, magnesio, potasio y manganeso.

Como se puede observar la suma de SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 supera el 70 % que se establece como mínimo en la norma ASTM C – 618 (ASTM 2008) para las puzolanas naturales.

Tabla 2.2. Composición química de la muestra de tobas empleadas. Fuente: (Almenares-Reyes 2011)

Compuesto	Contenido
	Tobas Sagua de Tánamo
SiO ₂	68,86
Al ₂ O ₃	13,63
MnO	0,06
MgO	2,64
Na ₂ O	1,87
CaO	5,34
TiO ₂	0,49
P ₂ O ₅	0,10
K ₂ O	2,27
Fe ₂ O ₃	4,58
SO ₃	0,11

2.2.3. Características físico mecánicas.

Se observan diferencias en las tobas vitroclásticas evaluadas en el sector I con relación a la de los sectores II y III. Las rocas del sector I son muy densas, tienen mayor resistencia, contrariamente poseen menor absorción y porosidad. El sentido general las tobas de ambos sectores presentan pesos volumétricos (saturados) inferior a 1,8 g/cm^3 y elevada porosidad, baja resistencia a la compresión y triturabilidad. Con relación al calor de inmersión indica en buena medida el grado de alteración de las tobas vítreas. Se puede decir que existe una relación directa de los valores del calor de inmersión respecto a la presencia de contenidos de motmorillonita y/o zeolita (Montero 2012).

2.3. Esquemas tecnológicos para la preparación mecánica

Según Razumov y Perov (RÁZUMOV y PEROV 1982), la técnica o enriquecimiento de minerales se han producido notorios cambios. Se destaca en particular, los cambios en la preparación de minerales. Se ha establecido

definitivamente la tesis acerca del carácter económico de alimentación fina de los molinos con piezas moledora de acero, predomina los esquemas de trituración con el ciclo cerrado en la última etapa. En serie se fabrica equipamiento de alto rendimiento y grandes dimensiones, es decir, trituradoras para trituración media y fina con conos de diámetro de 3000 mm, cribas vibrantes con tamiz de un área de más de 15 m^2 , molinos de bolas con volumen de 150 m^3 , molinos de automolienda de 450 m^3 de volumen.

Los esquemas de preparación de minerales que contienen las operaciones de trituración, cribado y trituración se crean partiendo de las propiedades de la mena, sobre la base de los resultados de investigaciones de la concentrabilidad, las características tecnológicas de la maquinaria que es posible aplicar y, además, de la experiencia de transformación de minerales con propiedades y composición análogas. En el proyecto de la parte de minería se determina el grosor de material que se envía a la fábrica, mientras que el grosor del material que llega a la primera etapa de trituración, así como el propio proceso, se establecen en función de los ensayos de concentrabilidad. Las propiedades físicas de la mena: tenacidad, composición granulométrica, humedad, contenido de arcilla, quebrantabilidad, capacidad de cribado, triturabilidad, determinan el proceso de trituración, cribado y trituración y lo tipos de aparatos para realizar estas operaciones.

2.4. Factores que influyen en la creación del proyecto

Influyen también sobre la elección del esquema, las condiciones generales para la creación del proyecto:

- Condiciones climáticas de la región
- Productividad de la empresa
- Procedimiento de explotación del yacimiento
- Procedimiento de alimentación de la mena a la fábrica y otros muchos.

Por ejemplo, cuando la mena es arcillosa y húmeda, pegajosa y no transportable, es posible que surja la necesidad del lavado de la mena y, en ocasiones, según

las condiciones de congelación, su desecación. A veces, es preciso separar los menudos y el almacenaje independiente de la mena en trozos. Es muy importante conocer los datos de explotación de las plantas de preparación de materiales para la construcción que trabajan empleando menas semejantes a las que se investigan.

Debido a las características del material que se estudia, la fundamentación de los esquemas tecnológicos, que se analizan a continuación, se refiere, principalmente, a las menas tenaces y tenacidad media, para cuya trituración pueden ser utilizadas trituradoras de mandíbulas y de conos.

Las operaciones de fragmentación se emplean al preparar las menas para su trituración o bien con el fin de prepararla directamente para las operaciones de concentración, cuando ella tiene gran diseminación de materiales útiles (o simplemente útiles). En las plantas de triturar y clasificar, las operaciones de trituración tienen significado independiente.

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

Las etapas de fragmentación tienen cuatro variedades: A - Operaciones de cribado previo, fragmentación y cribado de control; B - Operaciones de cribado previo y fragmentación; C - Operaciones de fragmentación y cribado de control D - Operaciones de fragmentación.

En los esquemas de trituración se incluyen una, dos, tres y más etapas de fragmentación.

El número de etapas de fragmentación se determina por la relación del tamaño máximo de los granos antes de la trituración y el tamaño máximo del producto triturado del material, a esto se le denomina grado de trituración.

El grado total de trituración es igual al producto de los grados de trituración en etapas por separado. Las trituradoras para gruesos, medios y finos permiten obtener de una vez los siguientes grados de trituración:

- Trituradores para gruesos hasta 5.
- Trituradores de conos para medios al trabajar sin cribado de control hasta 6 y al trabajar en ciclo cerrado con cribado de control hasta 8.
- Trituradores de conos para finos al trabajar sin cribado de control de 3 a 5 y al trabajar en ciclo cerrado hasta 8.

2.5. Reglas para elegir los esquemas de trituración

Primera regla

- El número de etapas de trituración durante la preparación de las menas debe ser igual a dos o tres.

Segunda regla

- El cribado previo antes de la primera etapa se utiliza raras veces y al hacer uso de él es necesario una fundamentación especial.
- El cribado previo antes de la segunda etapa se prevé, su refutación debe ser argumentada.
- Antes de la tercera etapa siempre se prevé el cribado previo.

Tercera regla

- Para obtener el producto fragmentado del grosor óptimo, la operación de cribado de control deberá ejecutarse.

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

Las características del grosor de los productos de las trituradoras se necesitan para calcular los esquemas de trituración y elección de trituradoras y cribas. En la representación gráfica de la composición granulométrica de los productos triturados, por los ejes de las abscisas se traza el grosor relativo que es igual a la razón entre el tamaño de los granos y la anchura de la boca de salida. Mientras que por los ejes de las ordenadas el contenido de las clases más gruesas que el grosor relativo a la izquierda y menos gruesas a la derecha.

Durante la trituración sin cribado de control de menas de dureza media en trituradores de conos para finos, la salida del producto excesivo alcanza el 60 %, mientras que el grosor máximo convencional del producto fragmentado supera 4, 5 - 5 veces la anchura de la boca de salida. Al tratar menas duras, la salida del producto excesivo aumenta hasta el 85 %, mientras que el grosor máximo relativo convencional constituye 5, 5 para la boca de salida de 5 mm.

2.6. Principios generales para la elección y el cálculo tecnológico del equipamiento.

Al elegir la maquinaria para la trituración es necesario resolver tres problemas principales: elección del tipo de equipos, definición de su rendimiento, elección de la dimensión óptima del equipo desde el punto técnico económico y la cantidad necesaria de equipos.

La potencia instalada y consumida, el número de revoluciones y otros índices no se calculan durante la elección de la maquinaria, ya que estos datos se toman de los catálogos de las fábricas constructoras.

En algunos casos, de acuerdo con las condiciones del proyecto, sólo puede ser utilizado un tipo de equipo. No obstante, con frecuencia para realizar una misma operación es posible emplear equipos de varios tipos. En tal caso, la elección correcta sólo puede ser efectuada basándose en la comparación técnico-económica de diferentes tipos de equipos.

En el problema de la elección del tipo de equipo desempeña decisivo papel el estudio de los datos prácticos acumulados sobre la explotación de máquinas semejantes, que trabajan en condiciones análogas a las existentes en las fábricas cuyo proyecto se elabora.

2.6.1. Elecciones de los equipos utilizados en la preparación mecánica de minerales.

La elección de los tipos y la dimensiones de las trituradoras, molinos para gruesos, medios y fino dependen de las propiedades físicas del mineral, del rendimiento necesario de la trituradora y del grosor del producto triturado. Entre dichas propiedades del material tiene importancia la dureza y la viscosidad, la presencia de arcilla, la humedad y el grosor de los granos mayores.

2.7. Fragmentación de materiales duros y de dureza media.

Para la primera etapa de trituración en grueso se utilizan las trituradoras de mandíbulas o de conos para gruesos, y para la segunda etapa de trituración se emplean trituradoras de cono reductoras. La trituradora elegida deberá asegurar el rendimiento necesario para el grosor del producto fragmentado previsto en el proyecto. La anchura de la boca de entrada de la trituradora debe ser el 10 – 15 % mayor que los trozos más grandes en la alimentación. Durante la elección hay que comparar las trituradoras de mandíbulas y de cono, en lo que respecta a la potencia instalada, masa, coste y comodidad de disposición de la maquinaria.

La dimensión de las trituradoras se elige en los catálogos de las fábricas constructoras. La trituradora de la primera etapa de fragmentación debe ser elegida de tales dimensiones que el rendimiento necesario de las fábricas de preparación de materiales se asegure con una sola trituradora.

La elección del tipo de trituradora se determina principalmente, por la correlación entre el tamaño de los trozos mayores en la alimentación y el rendimiento requerido. Siendo igual la anchura de la boca de entrada, el largo de la boca de salida de las trituradoras de conos es de 2, 5 a 3 veces mayor que las de

mandíbulas. Por esta causa el rendimiento de las trituradoras de conos es también de 2, 5 a 3 veces más elevado que las de mandíbulas, con igual anchura de la boca de entrada. Así cuando la mena es de gran grosor y se dispone de pequeño rendimiento, la trituradora de conos puede resultar cargada insuficientemente. En tal caso es más ventajoso instalar una trituradora de mandíbulas. Y viceversa, siendo grande el rendimiento y relativamente pequeño el grosor de la mena, es más conveniente la instalación de una trituradora de conos.

Además del rendimiento y el grosor de los trozos mayores, al elegir el tipo de triturador hay que tener en cuenta que la estructura de las trituradora de mandíbulas es más sencilla, estas ocupan menor área, tienen menor tendencia al atascamiento al fragmentar menas húmedas y arcillosas están mejor capacitadas para triturar menas viscosas que requieren mayor amplitud de oscilación de las mandíbulas. Pero estas trituradoras exigen alimentación más uniforme por lo que requiere la instalación de alimentadores se adaptan menos a la fragmentación de materiales en placas, sus partes cambiables se desgastan con mayor rapidez que las trituradoras de conos.

Por esta razón si la comparación técnico económica no ofrece claras ventajas de las trituradoras de mandíbulas deberán instalarse trituradoras de cono.

La fragmentación media y menuda de menas duras y de dureza media se realiza en las trituradoras para medios y menudos. Las trituradoras se eligen en catálogos y manuales. Como en los catálogos se aduce el rendimiento para la mena media deben introducirse correcciones para la triturabilidad, la densidad de relleno y el grosor de la mena.

2.8. Metodología de cálculo para la planta de preparación mecánica

En dependencia del diámetro del material a triturar y del producto triturado las etapas de trituración tienen nombres especiales: la primera etapa es la de trituración gruesa (de 1500 – 300 hasta 350 – 100 mm); la segunda etapa, de

trituration media (de 350 – 100 hasta 100 – 40 mm); la tercera etapa, de trituration fina (de 100 – 40 hasta 30 – 5 mm).

2.8.1. Proceso de trituration

2.8.2 Cálculo del flujo másico del material que se alimenta en una hora (Q, t/h)

Para el cálculo del flujo másico por hora se tomó el régimen de la mina, según (RÁZUMOV y PEROV 1982), en la tabla 4.

$$Q_{q.m.f.h} = \frac{Q_{f.a}}{Q_{t.q.h}} \quad (1)$$

Donde:

$Q_{q.m.f.h}$: Productividad de la trituradora para medio y fino en t/h

$Q_{f.a}$: Productividad anual de la mena inicial en t/a

$Q_{t.q.h}$: Productividad por hora en t/h

2.8.3. Definición del grado total de trituration

$$S = \frac{D_{máx}}{d_{máx}} \quad (2)$$

Donde:

$D_{máx}$: Diámetro del trozo máximo del material antes de la trituration

$d_{máx}$: Diámetro del trozo máximo del material después de la trituration

Se establece los grados de trituration en diversas etapas

$$S = s_1 s_2$$

$$s_1 \neq s_2 = s \rightarrow S = s \rightarrow s_m = \sqrt[2]{S}$$

Donde:

S_m : es el grado medio de trituración en una etapa.

s_1 y s_2 : son lo grado de trituración por etapa

2.8.4. Cálculo del diámetro máximo convencional de los productos triturados

$$D_5 = \frac{D_{m\acute{a}x}}{S_1} \quad (3)$$

$$D_7 = \frac{D_{m\acute{a}x}}{S_1 S_2} \quad (3.1)$$

D_5 y D_7 : Diámetro máximo convencional de los productos triturados

2.8.5. Cálculo del diámetro máximo de la boca de la salida de la trituradora

$$\text{a) } i_{II} = \frac{D_5}{Z_{II}} \quad (4)$$

Donde:

i_{II} y i_{IV} : Diámetro máximo de la boca de la salida de la trituradora

Z_{II} = Diámetro relativo

$$\text{b) } i_{IV} = \frac{D_7}{Z_{IV}} \quad (4.1)$$

Elección de las dimensiones de los orificios del tamiz de las cribas y la eficacia del cribado para la primera y segunda etapas de trituración

Las dimensiones de los orificios a se toma dentro de los límites $z_n i \geq a \geq i$ y los valores de eficacia del cribado se toma en función del tipo de criba: para la criba de barrote $E^{-a} = 60 - 70 \%$; y para vibratoria, $E^{-a} = 80 - 85 \%$;

Se realiza el cálculo aproximado del esquema de trituración y elección de las trituradoras.

a) Determinación de los valores aproximados de las masas de los productos 3, 10, que se alimentan a la operación de trituración.

Según la tabla. 8 de la literatura (RÁZUMOV y PEROV 1982), se halló las salidas aproximadas de los productos (para la mena de dureza media):

γ_3, γ_8 : Salida del producto que ingresa a la trituradora, % de la masa de la mena inicial.

El flujo masivo del mineral que se alimenta a la primera y segunda trituradora.

$$Q_n = Q_1 \cdot \gamma_n \quad (5)$$

$$Q_3 = Q_1 \cdot \gamma_3 \quad (5.1)$$

$$Q_{10} = Q_1 \cdot \gamma_{10} \quad (5.2)$$

b). Selección de las trituradoras. Los requisitos que se deben satisfacer las trituradoras, de acuerdo con los resultados del cálculo previo del esquema de trituración, se indican a continuación:

- Diámetro de los trozos mayores en la alimentación, mm
- Anchura de la boca de salida, mm
- Rendimiento requerido t/h
- Rendimiento volumétrico m^3/h

2.8.6. Cálculo de los coeficientes de reservas de las trituradoras seleccionadas.

$$K_n = \frac{Q_{calculado}}{Q_{seleccionado}} \quad (6)$$

Para el Cálculo precisado del esquema hay que construir las características de grosor para, $\beta^{+d}_I, b^{+d}_{II}, \beta^{+d}_{IV}, \beta^{+d}_{VI}$.

2.8.7. Cálculo de las capacidades de los productos de la primera etapa de trituración

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 > Q_2 = Q_1 \cdot \beta_1^{-83} E_1^{-83} > \beta_1^{-83} = 1 - \beta_1^{+83} \quad (7)$$

$$\beta_1^{-83} = 1 - \beta^{+83} \quad (7.1)$$

$$Q_2 = Q_1 \cdot \beta_1^{-a} E_1^{-a} \quad (7.2)$$

$$Q_3 = Q_4 = Q_1 - Q_2 \quad (7.3)$$

$$Q_5 = Q_1$$

$$\beta_5^{+d} = \beta_1^{-d} + \beta_1^{+i} \cdot \beta_{II}^{-d} \quad (7.4)$$

2.8.8. Cálculo de las capacidades de los productos de la segunda da etapa de trituración.

$$Q_5 = Q_7 + Q_{10}$$

$$Q_6 = Q_5 + Q_{11}$$

$$\beta_6^{-20} = \frac{1}{\gamma_6 \cdot E_{III}^{-a}} \quad (8)$$

$$Q_6 = Q_5 + Q_{11} = Q_5 \cdot \left(\frac{1}{E_V^{-a}} + \frac{\beta_6^{+20}}{\beta_{IV}^{-20}} \right) \quad (9)$$

$$\text{Donde: } Q_{10} = Q_{11}$$

$$\beta_5^{+20} = 1 - \beta_5^{-20} = 1 - (\beta_1^{+20} + \beta_5^{+12} \cdot \beta_{IV}^{-20}) \quad (10)$$

$$Q_6 = Q_5 \cdot \left(\frac{1}{E_V^{-20}} + \frac{\beta_6^{+20}}{\beta_{IV}^{-20}} \right) \quad (11)$$

$$Q_{11} = Q_{10} = \left(1 - \frac{1}{E_V^{-20}} + \frac{\beta_5^{+20}}{\beta_{IV}^{-20}} \right) \cdot Q_5 \quad (12)$$

$$Q_{10} = Q_{11} = Q_6 - Q_5 \quad (13)$$

$$Q_7 = Q_6 \beta_{IV}^{+20} \cdot E_V^{-20} \quad (14)$$

$$Q_8 = Q_1 \cdot \gamma_8$$

$$Q_9 = Q_1 \cdot \gamma_9$$

Balance de masa

$$Q_1 = Q_5 = Q_7 + Q_8 + Q_9 \quad (14.1)$$

2.9. Cálculo y elección de las cribas

$$F = \frac{Q}{q \cdot \delta \cdot k \cdot l \cdot m \cdot n \cdot o \cdot p} \quad (15)$$

Donde:

F = el área activa del tamiz, en m^2

Q = la productividad o rendimiento masivo de la criba

q = el rendimiento medio en 1 m^2 de superficie del tamiz, en m^3/h

k,l,m,n,o,p = son los coeficientes correctivos

2.10. Cálculo de la criba triple

El cálculo de la criba se realizó a partir de método híbrido de Bouso (Bouso 1999). Esta metodología se aplica para la proyección de cribas para su utilización en el procesamiento de minerales para la construcción.

2.10.1. Cálculo del ancho de la malla

$$A_m = 116 \cdot \frac{T \cdot R}{L_m \cdot f_d} \quad (16)$$

Donde:

A_m : Anchura mínima de la criba, expresada en mm

T: masa de sólidos de alimentación o que debe pasar por la malla-, expresada en t/h

R: porcentaje de rechazo, expresado en decimal

L_m : Luz de la malla, expresada en mm

f_d : Factor de densidad, sin unidades

Factor de correlación total

$$f_t = f_d + f_r + f_s + f_e + f_a + f_m + f_p + f_i + f_0 \quad (17)$$

Donde:

f_t : Factor total de correlación, sin unidades

f_r : Factor de rechazo

f_s : Factor de semitamaño

f_e : Factor de eficiencia

f_a : Factor de agua

f_m : Factor forma de malla

f_p : Factor de posición paño

f_i : Factor de inclinación de criba

f_0 : Factor área libre de paso

Capacidad básica corregida

$$B_c = B \cdot f_t \quad (18)$$

2.10.2. Cálculo de la superficie de la criba

$$F = \frac{T}{B \cdot f_c} \quad (19)$$

Donde:

F: el área activa del tamiz, en m^2

T: masa de sólidos -de alimentación o que debe pasar por la malla-, expresada en t/h

B: capacidad específica o básica bien de alimentación o pasante, expresada en t/m^2h

f_c : Factor total de corrección de la capacidad básica, sin unidades.

Conclusiones parciales

- Se aplica la metodología de cálculo y elección del equipamiento de un esquema tecnológico de preparación de minerales, utilizando para el cálculo de criba el método de híbrido de Bousso.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos del cálculo y elección del equipamiento del esquema tecnológico propuesto para preparación de minerales tobáceos para ser utilizados como materiales de producción.

Tabla 3.1. Datos iniciales para el proyecto

Capacidad Q(t/a)	Dmax,(mm)	dmáx (mm)	Humedad,(%)	Densidad, (g/cm3)	Dureza (Mohs)	$B_{f-0,074}$
50000	500	20	5	0,79	5	79

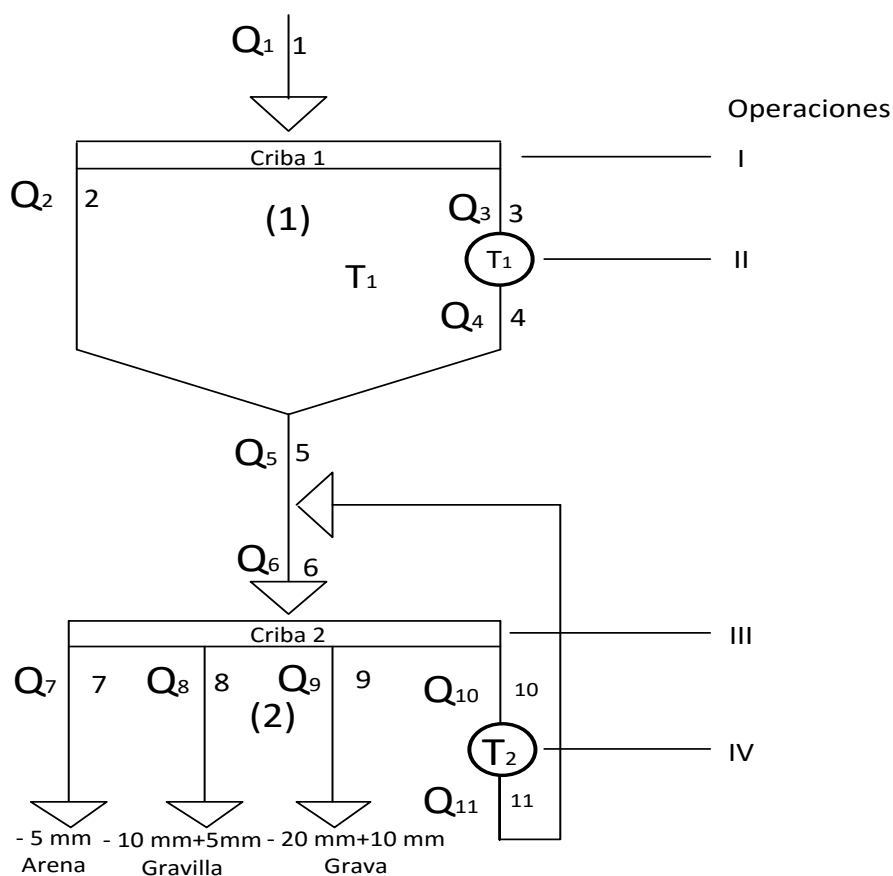


Figura 2. Esquema tecnológico propuesto

3.1. Cálculo del flujo masivo del material que se alimenta por hora. (Q, t/h)

$$Q_{q.m.f.h} = \frac{Q_{f.a}}{2380} = 21.01 \text{ t/h}$$

3.2. Se Determina el grado total de trituración

$$S = \frac{D_1}{D_7} = \frac{500}{20} = 25$$

Elección de las variantes de los esquemas de trituración para la comparación técnico-económica.

$S = s_1 s_2$; Por lo tanto:

a) Se elegí el grado de trituración en etapas aisladas

$$s_1 \neq s_2 = s \rightarrow S = s \rightarrow s_m = \sqrt{25} = 5$$

Donde:

S_m : es el 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 el grado de trituración en la segunda etapa mayor que el grado medio de trituración en una etapa (S_m), donde el grado máximo de trituración $S_{m\acute{a}x} = 25$ puede ser obtenido en dos etapas de trituración. Por esta razón, para la primera y la segunda etapas de trituración será:

$$S_{m\acute{a}x} = 25 = 4 \cdot 6,25$$

Para etapa I

$$S_1 = 4$$

Para etapa II

$$S_2 = \frac{S}{S_1} = \frac{25}{4}$$

$$S_2 = 6,25$$

3.3. Diámetro máximo convencional de los productos

$$D_5 = \frac{D_1}{S_1} = \frac{500}{4} = 125 \text{ mm}$$

$$D_7 = \frac{D_1}{S_1 S_2} = \frac{500}{4 \cdot 6,25} = 20 \text{ mm}$$

3.3.1. Diámetro máximo de la boca de la salida de la trituradora

$$\text{a. } i_{II} = \frac{D_5}{Z_{II}}$$

Donde:

Z_{II} = Diámetro relativo

Z_{II} : Este coeficiente se determina teniendo en cuenta el tipo de trituración, características físicas mecánicas del mineral y el porcentaje de humedad. Se halla en la bibliografía (RÁZUMOV y PEROV 1982), pág. 56, fig.8

$$Z_{II}^{-1} f(5 \%)$$

Z_{II} = Según la dureza del mineral (dureza media).

$$Z_{II} = 1,5$$

$$i_{II} = \frac{D_5}{Z_{II}} = \frac{125}{1,5} = 83,33 \text{ mm}$$

b.

$$i_{IV} = \frac{D_{10}}{Z_{IV}} = \frac{20}{1,7} = 11,76 \text{ mm}$$

Z_{IV} = Diámetro relativo de la 2da etapa de la trituradora se halla de la tabla 6 pag.58. Se interpola de acuerdo a la anchura de la boca de salida; mm (D_{10}) y la tenacidad del mineral.

Elección de las dimensiones de los orificios del tamiz de las cribas y la eficacia del cribado para la primera y segunda etapas de trituración.

$$E_I^{-a} = 60 - 70 \% ; \text{ Trituración grueso}$$

$$E_I^{-a} = 80 - 85 \% ; \text{ Trituración media y fina}$$

Para la primera etapa $E_I^{-a} = 65 \%$

Para la segunda etapa $E_I^{-a} = 85 \%$

Para el esquema que eligió, se toma $a_1, i_{II} - a_1 - Z_{II}$.

$$a_1 = 83,33 \text{ mm}$$

$$a_{iii} = 1,8 \cdot 11,76$$

$$a_{iii} = 21,18 \text{ mm}$$

Comprobación de la correspondencia del esquema elegida de trituración y los grados de trituración que se fabrica.

a) Determinación de los valores aproximados de las masas de los productos 3, 10, que se alimentan a la operación de trituración.

Se halla las salidas aproximadas de los productos (para la mena de dureza media) (RÁZUMOV y PEROV 1982). Los valores seleccionados son 0,75 para el producto 3 y 1,35 para el producto 10.

Entonces,

$$Q_n = Q_1 \cdot \gamma_n$$

NB: El flujo masivo del mineral que se alimenta a la primera trituradora.

$$Q_3 = Q_1 \cdot \gamma_3 \rightarrow Q_3 = Q_1 \cdot \gamma_3 = Q_4$$

$$Q_3 = Q_4$$

$$Q_1 = 21,01 \text{ t/h}$$

$$Q_3 = 15,76 \text{ t/h} \rightarrow V_3 = 19,94 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{10} = Q_1 \cdot \gamma_8$$

$$Q_{10} = 28,86 \text{ t/h} \rightarrow V_{10} = 35,90 \text{ m}^3/\text{h}$$

b) Selección de las trituradoras. Los requisitos que se deben satisfacer las trituradoras, de acuerdo con los resultados del cálculo previo del esquema de trituración, se indican en la siguiente tabla.

Tabla 3.2. Requisitos que deben satisfacer las trituradoras (para el ejemplo de elección y cálculo del esquema de trituración).

Índice	Etapas de trituración	
	Primera	Segunda
Diámetro de los trozos mayores en la alimentación, mm	500	125
Anchura de la boca de salida, mm	83,33	11,76
Rendimiento requerido t/h	15,76	28,86
Rendimiento volumétrico m^3/h	6,30	11,34

Tabla 3.3. Característica tecnológica de las trituradoras elegidas.

Etapa de trituración	Tipo y dimensión de las trituradoras	Anchura de la boca de entrada, mm	Límites de regulación de la boca de salida, mm	Rendimiento con las bocas De salida previstas en el proyecto, m ³ /h
Primera	De Mandíbula, para grueso. WAC 600-900	600	80 - 160	45 - 84
Segunda	De cono, para fino. KM Д -2200Т	140	10 - 20	180 - 260

Nota importante: los flujos de alimentación de las trituradoras seleccionadas varían de una capacidad a otras.

El rendimiento de la trituradora para grueso con la boca de salida de 140 mm se ha tomado 45 m³/h y para trituradora de fino a 180 m³/h pero hay que llevarlo a toneladas por hora.

3.3.2. Cálculo de los coeficientes de reservas de las trituradoras seleccionadas

$$K_1 = \frac{Q_{\text{calculado}}}{Q_{\text{seleccionado}}} = \frac{15,76}{35} = 0,79$$

$$K_2 = \frac{Q_{\text{calculado}}}{Q_{\text{seleccionado}}} = \frac{28,86}{180} = 0,10$$

3.3.3. Cálculo de precisado del esquema

Tabla 3.4. Datos para construir la característica de tamaño del material que se alimenta y el producto de la primera etapa de trituración.

Según la característica tipo		Mena inicial	Producto de la trituradora de mandíbula
Diámetro relativo (Zn)	Salida sumaria de la clase, (%)	Diámetro de la clase, (mm):	Diámetro de la clase, (mm):
0	100	0	0
+0,2	87	+66,67	16,67
+0,4	72	+133,33	+33,33
+0,8	40	+266,67	+66,67
+1	27	+333,33	+83,33
+1,2	16	400	100
+1,5	5	+500	125

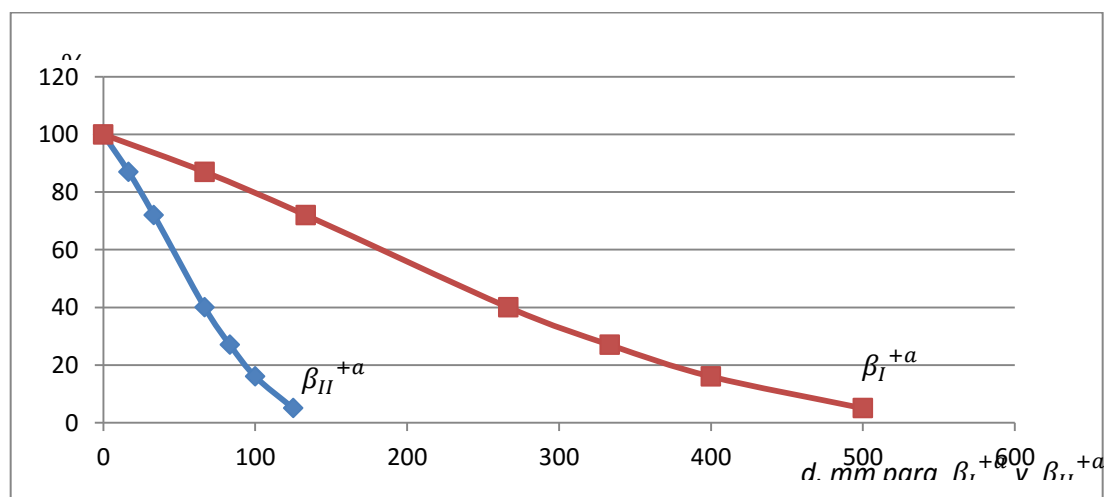


Figura 3. Características de tamaño (Para el ejemplo de elección y cálculo del esquema de trituración)

β^{+d}_I – Característica de tamaño de la mena inicial

β^{+d}_{Ii} – Descarga de la trituradora de mandíbula

3.4. Balance material de la planta de preparación mecánica.

3.4.1. Cálculo de las capacidades de los productos de la primera etapa de trituración.

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \rightarrow Q_2 = Q_1 \cdot \beta_I^{-83} E_I^{-83} \rightarrow \beta_I^{-83} = 1 - \beta_I^{+83}$$

$$\beta^{+83} = 100 - \frac{83,33}{80}(100 - 71) = 73,54 \approx 0,73$$

$$\beta_I^{-83} = 1 - 0,73 = 0,17$$

$$Q_2 = Q_1 \cdot \beta_I^{-a} E_I^{-a} = Q_1 \cdot \beta_1^{-73} E_1^{-73}$$

$$Q_2 = 2,32 \text{ t/h} = 0,93 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_3 = Q_4 = Q_1 - Q_2 = 18,69 \text{ t/h} = 7,47 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\beta_5^{+21,18} = 0,2 + 0,73 \cdot 0,10$$

$$\beta_5^{+21,18} = 7,5$$

$$Q_5 = Q_1 = 21,01 \text{ t/h}$$

3.4.2. Cálculo de las capacidades de los productos de la segunda etapa de trituración.

Tabla 3.5. Datos para construir la característica de tamaño del material que se alimenta y el producto de la segunda etapa de trituración.

Según la característica tipo		Producto de KM d - 1200T con $i = 11,76 \text{ mm}$
Diámetro relativo (Zn)	Salida sumaria de la Clase, (%)	Diámetro de la clase, (mm): β_I^{+d}
+0	100	0
+0,1	80	2
+0,2	66	4
+0,4	40	8
+0,6	22	12
+0,8	11	16
+1,0	5	20

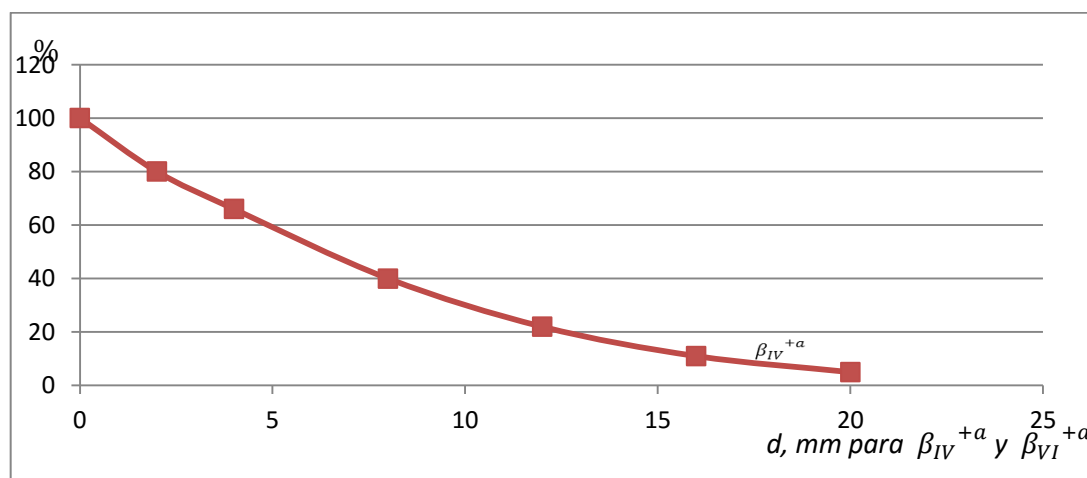


Figura 4. Características de tamaño del producto triturado de la segunda etapa.

β_{IV}^{+d} – Descarga de la trituración media

$$Q_5 = Q_7 + Q_{10}$$

$$Q_6 = Q_5 + Q_{11}$$

$$\beta_6^{-20} = \frac{1}{\gamma_6 \cdot E_{III}^{-a}}$$

$$Q_6 = Q_5 + Q_{11} = Q_5 \cdot \left(\frac{1}{E_{III}^{-a}} + \frac{\beta_6^{+20}}{\beta_{IV}^{-20}} \right)$$

$$\text{Donde: } Q_8 = Q_9$$

$$\text{Cálculo de } \beta_5^{+20}$$

$$\beta_5^{+20} = 1 - \beta_5^{-20} = 1 - (\beta_{IV}^{+20} + \beta_5^{+12} \cdot \beta_{IV}^{-20})$$

$$\beta_V^{+20} = \frac{20}{20} \cdot 30 = 30 = 0,30 \%$$

$$\beta_6^{-20} = \frac{1}{1,12 \cdot 0,85} = 0,76$$

Nota: β_{IV}^{-20} se interpola en el grafico

$$\beta_{IV}^{+20} = 66 - \left(\frac{(80 - 66) \cdot (20 - 2)}{(2 - 4)} \right) = 192 = 0,19$$

$$\beta_{IV}^{-20} = 1 - 0,19 = 0,81 \%$$

$$\beta_6^{+20} = 1 - \beta_V^{-20} = 1 - (\beta_1^{+20} - \beta_5^{+12} \cdot \beta_{IV}^{-20})$$

$$\beta_6^{+20} = 1 - 0,30 - 0,18 \cdot 0,19 = 0,67$$

$$Q_6 = Q_5 \cdot \left(\frac{1}{E_{III}^{-20}} + \frac{\beta_6^{+20}}{\beta_{IV}^{-20}} \right) = 21,01 \cdot \left(\frac{1}{0,85} + \frac{0,67}{0,81} \right) = 17,62 \text{ t/h}$$

$$Q_{11} = Q_{10} = \left(1 - \frac{1}{E_V^{-20}} + \frac{\beta_5^{+20}}{\beta_{IV}^{-20}} \right) \cdot Q_5$$

$$Q_{10} = Q_{11} = Q_6 - Q_5 = 21,01 - 17,62 = 3,38 \text{ t/h}$$

$$Q_7 = Q_6 \beta_{IV}^{+20} \cdot E_V^{-20} = 3,4 \text{ t/h}$$

$$Q_8 = Q_1 \cdot \gamma_8 = 5,04 \text{ t/h}$$

$$Q_9 = Q_1 \cdot \gamma_9 = 12,61 \text{ t/h}$$

$$Q_1 = Q_5 = Q_7 + Q_8 + Q_9 = 3,4 + 5,04 + 12,61 = 21,01 \text{ t/h}$$

Tabla 3.6. Balance de material procesado

Entrada		
Elementos	t/h	%
Q_1	21,01	100
Total	21,01	100
Salida		
Q_7	3,4	16
Q_8	5,04	24
Q_9	12,61	60
Total(t/h)	21,01	100,00

3.5. Cálculo del cribado

Elección de las dimensiones de los orificios del tamiz de las cribas y la eficacia del cribado para la primera y segunda etapas de trituración.

Para el cribado previo la dimensión de los orificios del tamiz se toma en los límites de a. Si la trituradora resulta poco cargada, la dimensión de los orificios se toma igual o un poco mayor que, mientras que si la trituradora está sobrecargada, igual o un poco menor. Según los datos prácticos, la correlación entre las dimensiones de los orificios de las cribas y la anchura de salida de las trituradoras es aproximadamente igual a: para la trituradora gruesa 1, para la media, 1.5 -1.8, para la fina 2 - 3. Para el cribado de gruesos en cribas de barrotes, el valor de la eficacia del cribado se toma en los límites del 60 – 70 %, en tanto que para el

cribado previo de medios y finos, en los límites del 80 – 85 % (al instalar cribas vibratorias).

Para el esquema que se calcula se toma:

$E_I^{-a} = 60 - 70 \%$; Trituración grueso

$E_I^{-a} = 80 - 85 \%$; Trituración media y fina

Para la primera etapa $E_I^{-a} = 65 \%$

Para la segunda etapa $E_I^{-a} = 85 \%$

Para el esquema que elegido se toma $a_1, i_{II} - a_1 - Z_{II}$.

$$a_1 = 83,33 \text{ mm}$$

$$a_{iii} = 1,8 \cdot 11,76$$

$$a_{iii} = 21,18 \text{ mm}$$

3.5.1. Cálculo de criba de la primera etapa

Cuando el contenido en el material de alimentación de granos mayores que las dimensiones de los agujeros del tamiz, es decir $+83,33 \text{ mm}$ $\beta^{+83,33}=83,33$ en la figura 4.

Solución:

$$F = \frac{Q}{q \cdot \delta \cdot k \cdot l \cdot m \cdot n \cdot o \cdot p}$$

Donde:

F = el área activa del tamiz, en m^2

Q = la productividad o rendimiento masivo de la criba

q = el rendimiento medio en $1 m^2$ de superficie del tamiz, en m^3/h

k,l,m,n,o,p = son los coeficientes correctivos

El valor de **q** y **m** no se muestran en la tabla razón por la cual se interpolan interpolamos según la siguiente formula:

$$q_n = q_0 + \frac{(q_1 - q_0) \cdot (d_1 - d_0)}{d_2 - d_0} = 63 + \frac{(90 - 63) \cdot (125 - 100)}{150 - 100}$$

$$q = 76,5 \text{ m}^3(\text{m}^3\text{h})$$

$$m_n = m_0 + \frac{(m_1 - m_0) \cdot (E_1 - E_0)}{E_2 - E_0} = 1,9 + \frac{(1,65 - 1,9) \cdot (65 - 60)}{70 - 60}$$

$$m = 1,78$$

Datos:

$$Q = 21,01 \text{ t/h} \quad m = 1,78$$

$$q = 76,5 \text{ m}^3(\text{m}^2/\text{h}) \quad n = 1$$

$$\delta = 0,79 \quad o = 1$$

$$K = 0,9 \quad p = 1$$

$$l = 0,72$$

$$F = \frac{21,01}{76,5 \cdot 0,79 \cdot 0,9 \cdot 0,72 \cdot 1,78 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}$$

$$F = 0,30 \text{ m}^2$$

Después de haber calculado el área activa del tamiz se hace la elección de la criba utilizando la bibliografía de Andriev y otros autores (Andreiev, Perov y Zverievich 1980), epígrafe 7.

Tabla 3.7. Dimensiones tipo de la criba

Modelo	ГИТ-31(СМ-724)	
Dimensiones de la superficie del cribado del tamiz	Ancho	1250
	Longitud	2500
Área de un tamiz, en (m^2)	3,12	
Números de tamices	1	
Dimensiones de agujeros del tamiz, en (mm)	70-180	
Tamaño máximo de los trozos de la alimentación, en (mm)	750	
Angulo de inclinación del cajón, en (grados)	15-30	
Amplitud (semienvergadura) de oscilaciones del cajón, en (mm)	3	
Frecuencia de rotación del árbol del vibrador, en (Rev./min)	800	
Rendimiento, en (t/h)	350	

3.5.2. Cálculo de criba de la segunda etapa

La criba elegida para el proceso de cribado de la segunda etapa de trituración es una criba triple.

Tabla 3.8. Factores de correlación

Factores de correlación	Primer paño	Segundo paño	Tercero paño
f_d	0,49	0,49	0,49
f_r	1,04	1,03	0,90
f_s	2,55	1,53	0,80
f_e	1,26	1,26	1,26
f_m	0,85	0,85	1
f_p	1	1	1,25
f_i	1	1	1
f_o	1	1	1
f_t	6,34	5,31	4,45

3.5.3. Cálculo del ancho de las mallas

$$A_{m1} = 116 \cdot \frac{21,01 \cdot 0,15}{20 \cdot 049} = 37 \text{ mm}$$

$$A_{m2} = 116 \cdot \frac{19,96 \cdot 0,5}{10 \cdot 049} = 236 \text{ mm}$$

$$A_{m3} = 116 \cdot \frac{9,98 \cdot 0,5}{5 \cdot 049} = 442 \text{ mm}$$

Capacidad básica de las mallas

$$B = 22 \text{ t/m}^2\text{h}$$

$$B = 14,4 \text{ t/m}^2\text{h}$$

$$B = 10 \text{ t/m}^2\text{h}$$

Capacidad básica corregida

$$B_{c1} = 139,48 \text{ t/m}^2\text{h}$$

$$B_{c2} = 76,46 \text{ t/m}^2\text{h}$$

$$B_{c3} = 44,5 \text{ t/m}^2\text{h}$$

Tonelada pasante

$$T_{P1} = 20,98 \text{ t/h}$$

$$T_{P2} = 17,86 \text{ t/h}$$

$$T_{P3} = 16,97 \text{ t/h}$$

3.5.4. Cálculo de la superficie de la criba

$$F_1 = \frac{20,98}{139,48} = 0,15 \text{ m}^2$$

$$F_2 = \frac{19,96}{76,46} = 0,23 \text{ m}^2$$

$$F_3 = \frac{9,98}{44,5} = 0,38 \text{ m}^2$$

3.5.5. Cálculo ancho y longitud de la criba

$$A_1 = 1000 \cdot \frac{S}{2,5^{0,15}} = 143,97 \text{ mm}$$

$$L_1 = 2.5 \cdot A = 359,93 \text{ mm}$$

$$A_2 = 1000 \cdot \frac{S}{2,5^{0,5}} = 147,7 \text{ mm}$$

$$L_2 = 2.5 \cdot A = 241,1 \text{ mm}$$

$$A_3 = 1000 \cdot \frac{S}{2,5^{0,5}} = 329,3 \text{ mm}$$

$$L_3 = 2.5 \cdot A = 602,81 \text{ mm}$$

Se ha seleccionado una criba con un tamaño de 360 mm x 602 mm para clasificación del producto final.

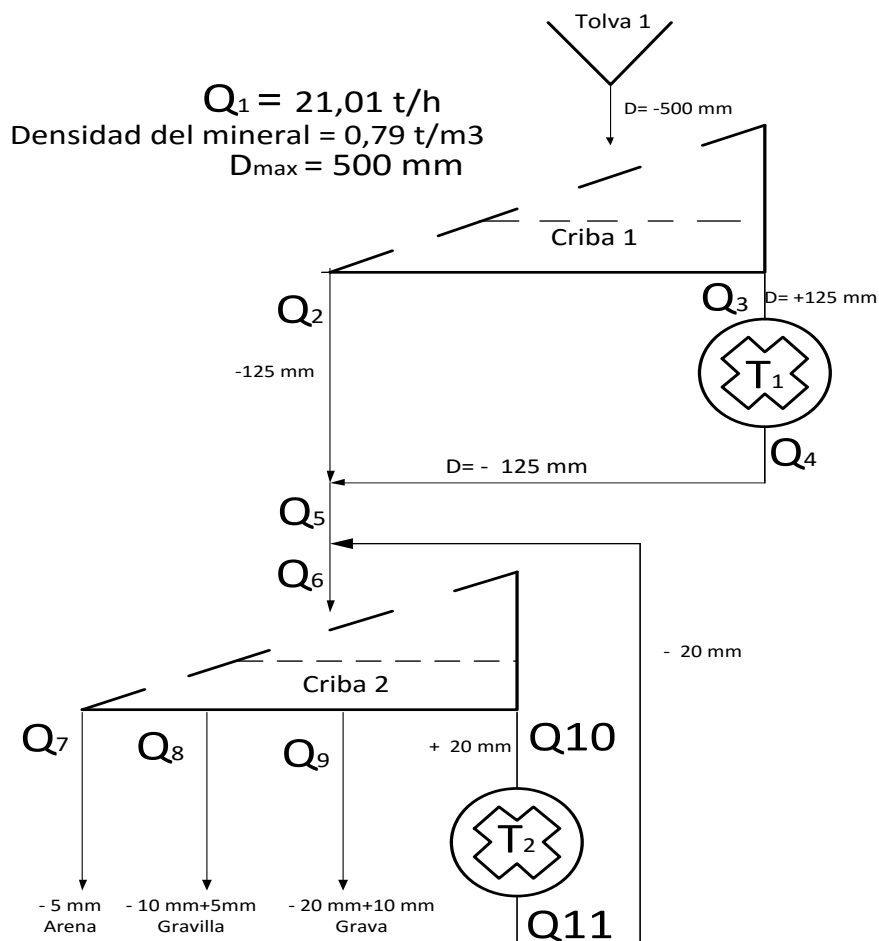


Figura 5. Esquema general de preparación del mineral detallado

3.6. Medidas de seguridad industrial y el impacto ambiental

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 (Morales Serrano 2017).

3.7. Seguridad Industrial

3.7.1. 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.

3.7.1.1. 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.

3.7.1.2. 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.

3.8. Medio Ambiente

3.8.1. 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.

3.8.2. 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.

3.9. Cálculo de los costos de los equipos

3.9.1. Cálculo de los costos de las trituradoras elegidas

Según Mular y Bhappu (Mular y Bapphu 1980) para el cálculo económico se parte de la siguiente expresión matemática.

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

Donde, a y b son coeficientes empíricos de los equipos. X- parámetro del equipo.

Tabla 3.9. Característica tecnológica de las trituradoras elegidas

Etapas de trituración	Tipo y dimensión de las trituradoras	Anchura de la boca de entrada, mm	Límites de regulación de la boca de salida, mm	Rendimiento con las bocas De salida previstas en el proyecto, m^3/h
Primera	De Mandíbula, para grueso. WAC 600-900	600	75 - 200	35 -120
Segunda	De cono, para fino. KMA -2200T	140	10 - 20	180 – 260

3.9.2. Primera etapa de trituración

Costo de la trituradora de mandíbulas: WAC 400x600

$$Costo = a \cdot (X)^b$$

Donde; $a = 6,0$ y $b = 1,28$ $X = 360$

$$Costo = 6,0 \cdot (360)^{1,28} = \$ 11225,83 \text{ USD}$$

3.9.3. Segunda etapa de trituración

Costo de la trituradora de cono para fino, KMA-1200T.

$$Costo = a \cdot (X)^b$$

Donde; $a = 4254$ y $b = 1,80$ $Y X = 5$

$$Costo = \$ 77080,32 \text{ USD}$$

3.9.4. Gasto total de las trituradoras seleccionadas

$$G_{Total} = Costo_{1ra\ trituradora} + Costo_{2da\ trituradora}$$

$$G_{Total} = 11225,83 + 77080,32$$

$$G_{Total} = \$ 88306,15 \text{ USD}$$

3.9.5. Cálculo del Costo de las cribas

Cribas ГИТ-31(CM-724)

$$Costo = a \cdot (X)^b$$

$$\text{Donde; } a = 376 \text{ y } b = 0,76 \text{ } X = 10$$

$$Costo_{criba\ de\ inercia} = 1 \cdot 376 \cdot (15)^{0,76}$$

$$Costo_{criba\ de\ inercia} = \$ 2163,654 \text{ USD}$$

Cribas ГИТ-11(ГЖ-2)

$$Costo = a \cdot (X)^b$$

$$\text{Donde; } a = 376 \text{ y } b = 0,76 \text{ } X = 8$$

$$Costo_{criba\ de\ inercia} = 1 \cdot 376 \cdot (1,7)^{0,76}$$

$$Costo_{criba\ de\ inercia} = \$ 562,7675 \text{ USD}$$

Costo total de Cribas

$$Costo_{Total\ de\ las\ criba} = \$ 2726,422 \text{ USD}$$

3.9.6. Gasto total de los equipos instalados

$$G_{TOTAL} = G_{Trituradoras} + G_{Cribas}$$

$$G_{TOTAL} = \$ 91\ 032,57 \text{ USD}$$

Tabla 3.10. Resumen de los equipos a instalar

Equipos		Cantidad	Potencia (Kw)	Costo, USD \$
1ra	Criba ГИТ-31(CM-724)	1	10	2163,654
2da	Criba 360 mm x 602 mm	1	----	562,7675
Trituradora de mandíbulas: WAC 400x600		1	28	11225,83
Trituradora de cono para fino, KMA-1200T		1	75	77080,32
Total de costo		----	----	91 032,57

Conclusiones parciales

- Se realizó el cálculo y elección del equipamiento del esquema tecnológico BA propuesto que aparece en la figura 2.
- Se hizo el cálculo del balance del material correspondiente al esquema propuesto.

CONCLUSIONES

1. Se propuso un esquema tecnológico de tipo BA, con dos etapas de trituración y dos de cribado tomando como base las propiedades físico – mecánicas de los minerales tobáceos que permitió su cálculo y elección del equipamiento del esquema tecnológico de acuerdo a las necesidades tecnológicas para el procesamiento de la materia prima.
- El costo de los equipos de la planta fue de 91 031,57 USD. Se evaluaron las medidas de seguridad, el plan de mantenimiento, el impacto ambiental producido por la actividad de preparación mecánica y se propusieron las medidas de mitigación.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el esquema tecnológico propuesto para su empleo en la producción de material de construcción del territorio.
2. Se recomienda realizar una propuesta tecnológica que se permita producir polvo de piedra y material cementante suplementario.

BIBLIOGRAFIA

- ALMENARES-REYES, R.S., 2011. *Perspectivas de utilización de tobas vítreas y zeolitizadas de la provincia Holguín como adiciones puzolánicas*. Tesis de Maestría. Moa, Cuba: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- ANDREIEV, PEROV y ZVERIEVICH, 1980. *Trituración, desmenuzamiento y cribado de minerales*. Moscú, Rusia: MIR.
- ASTM, 2008. *ASTM C 618 08 Standard specification for coal fly ahs and raw or calcined pozzolan for in concret*. 2008. www.astm.org: ASTM C 618 03.
- BATISTA, R., 2007. *Valoración del Potencial de Los Recursos Minerales para la Industria del Cemento en Cuba*. Pinar del Río, Cuba: Universidad de Pinar del Río.
- BATISTA, R., 2011. *Rocas y minerales industriales de la República de Cuba*. . La Habana, Cuba:
- BATISTA, R., COUTIN, D., JORDÁN, R. y GALLO, R., 2009. Valoración del potencial de los recursos minerales para la industria del cemento en cuba. *III Convención Cubana de Ciencias de la Tierra-Geociencias*. La Habana, Cuba: s.n., pp. 484-510.
- BATISTA, R., GARCÍA, M.A. y GONZÁLEZ, E.M., 2010. *Sistema Informativo para los recursos minerales de Cuba, INFOYAC*. . La Habana, Cuba:
- BOUSO, J.L., 1999. *Cálculo de la Superficie de Cribado*. *Rocas y Minerales*,
- DE ARMAS, J., 2008. *Reevaluación de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo como puzolanas naturales*. Tesis de Pregrado. Moa, Cuba: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- DÍAZ-SÁNCHEZ, Z., 2011. *Evaluación de mezclas de arcillas y tobas vítreas para su utilización en la industria de materiales de construcción*. Trabajo de diploma. Moa, Cuba: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- DÍAZ ALVAREZ, A., 2014. *Evaluación de mezclas de arcillas con adición de tobas vítreas para la fabricación de ladrillos cerámicos*. Tesis de Pregrado. Moa, Cuba: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- FRAZAO-NDUMBA, M. y COELLO-VELÁZQUEZ, A.L., 2007. Caracterización mineralógica de tobas zeolitizadas del yacimiento Caimanes para su beneficio por molienda diferencial Mineralogical characterization of zeolitic tuffs from Caimanes deposit for its beneficiation by differential mill. , pp. 1-18.
- GIRALT, R. y TELLEZ, I., 2006. *Determinación de los parámetros básicos de la molienda de la molienda de tobas*. Tesis de Pregrado. Moa, Cuba: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

- GUILLÉN, R., 2013. *Características geológicas y evaluación de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo*. Tesis de Pregrado. Moa, Cuba: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- JIMENEZ GARCIA, A., 2017. *Caracterización de la puzolánidad de las Tobas Zeolitizadas de Caimanes y Vítreas de Sagua de Tánamo para fabricar materiales de pequeño formato para la construcción*. Tesis de Pregrado. Moa, Cuba: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- LLEVAT, A., 2018. *Proyecto de esquema tecnológico de la planta procesamiento de áridos Cerro Calera Bariay*. Tesis de Pregrado. Moa, Cuba: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- LÓPEZ, L.M., 2006. *Caracterización geológica de las materias primas minerales de los Municipios Moa – Sagua de Tánamo para su empleo como materiales de construcción*. Tesis de pregrado. Moa, Cuba: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- MONTERO, F., 2012. *Separación de la montmorillonita de las tobas vítreas*. Tesis de Pregrado. Moa, Cuba: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- MORALES SERRANO, A., 2017. *Empleo de tobas en la producción de bloques huecos de hormigón*. Trabajo de Diploma. Moa, Cuba: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- MULAR y BAPPHU, 1980. *Diseño de planta de preparación de minerales*. Nueva York, Estados Unidos: Rocas y Minerales.
- MUXLHANGA, R.J., 2009. *EVALUACION DE LAS TOBAS VITREAS DEL YACIMIENTO SAGUA DE TANAMO PARA SU UTILIZACIÓN COMO ARIDO Y PUZOLANA NATURAL EN LA CONSTRUCCION*. Tesis de Pregrado. Moa, Cuba: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- PÉREZ MONTERO, Y., 2011. *COMPORTAMIENTO DE LAS FUNCIONES DE CLASIFICACIÓN Y FRAGMENTACIÓN PARA LA MOLIENDA DE LAS TOBAS VÍTREAS DEL YACIMIENTO SAGUA DE TÁNAMO*. Tesis de Pregrado. Moa, Cuba: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- PÉREZ RODRÍGUEZ, Y., 2011. Evaluación de tobas vítreas y zeolitizadas de la provincia Holguín para su utilización como puzolana natural en la construcción. *Ciencia & Futuro*, vol. 1, no. 4, pp. 41-51.
- RÁZUMOV, K.A. y PEROV, V.A., 1982. *Proyecto de fabricas de preparacion de minerales*. Moscú, Rusia: MIR.
- RICHARDSON, D., 2008. *Beneficio de las tobas basicas de Farallones de Moa para la concentración de fases zeolitizadas*. Tesis de Pregrado. Moa, Cuba: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

SALAS, R., 2013. *La minería artesanal en Cuba. Perspectivas de las tobas vítreas en la provincia de Holguín*. Tesis de Pregrado. Moa, Cuba: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

TAMAYO, N., 2016. *Influencia de la preparación de las tobas vítreas de la región del Pícao sobre la reactividad puzolánica*. Tesis de Pregrado. Moa, Cuba: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

