

**Evaluación de los desechos
serpentiníticos y desechos de arena
sílice para el empleo como árido
fino asfáltico en Moa.**

**Tesis en opción al título de Ingeniero en Metalurgia
y Materiales**

David Bautista Zamora

Moa

2017





Ministerio de la Educación Superior

Instituto Superior Minero-Metalúrgico

Facultad: Metalurgia – Electromecánica

Evaluación de los desechos serpentínicos y desechos de arena sílice para el empleo como árido fino asfáltico en Moa.

Tesis en opción al título de Ingeniero en Metalurgia y Materiales

Autor: David Bautista Zamora

Firma: _____

Tutores: Prof. Tit. Carlos A. Leyva Rodríguez, Dr. C

Firma: _____

Ing. Ismael Terrero Aguirre

Firma: _____

Moa

2017

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Declaro que soy el único autor de este trabajo y autorizo al Departamento de Metalurgia- Química y al Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez” para que hagan el uso que estimen pertinente con el mismo.

Para que así conste firmo la presente a los ___días del mes de ____del _____

Firma del Autor

David Bautista Zamora

Firma de los Tutores

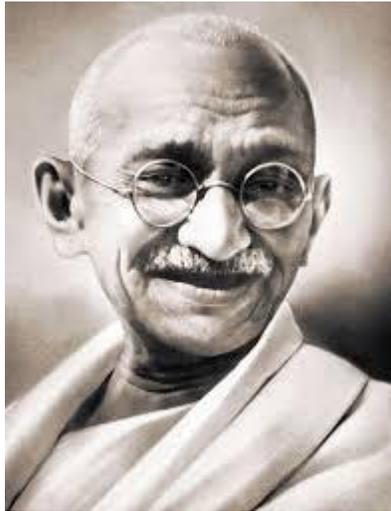
Dr. C Carlos A. Leyva Rodríguez

Ing. Ismael Terrero Aguirre

PENSAMIENTO

*“Nuestra recompensa se encuentra en el
esfuerzo y no en el resultado.*

*Un esfuerzo total es una victoria
completa.”*



Mahatma Gandhi

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis familiares.

A mis padres: Yudarkys y Guillermo por estar ahí cuando más los necesité, siempre creer en mí y ser las personas más especiales en mi vida.

A mí querido y estimado hermano: Dairon, que siga mi ejemplo y se haga todo un profesional, yo sé que tú puedes Brother.

A la persona que desde un balance me da todo el apoyo del mundo y que adoro con todo mi corazón mi abuela: Isabel.

*A mi compañera de vida durante estos dos años que hemos pasado:
Darlís Lisette*

A mis amigos que siempre me apoyaron en las buenas y en las malas, tanto los de mi cuarto como los del aula.

A nuestra revolución, por las posibilidades que me ofrece.

Agradecimientos

A todos los que de una forma u otra han contribuido a la realización de este trabajo a mis tutores Carlos Leyva e Ismael Terrero por estar siempre pendientes del transcurso de la realización del trabajo.

A todos los profesores del departamento de metalurgia por formarme como un profesional y prepararme para la vida que me voy a enfrentar.

A todos mis compañeros del cuarto por los momentos que vivimos (Yoisel, Eudi, Dasiel, Niubel, Elier, Enrique, Walter, Poll, Tiope).

A mis compañeros de aula que siempre compartimos momentos inolvidables.

GRACIAS DE TODO CORAZÓN

Resumen

Las limitaciones existentes en el tratamiento a los residuos de arena de fundición de la empresa mecánica Gustavo Machín de Moa y los desechos de serpentina de la empresa productora de níquel y cobalto Ernesto Che Guevara, constituye un serio problema para las entidades y para el medio ambiente. La presente investigación tiene como objetivo valorar estos residuos para utilizarlo como materiales alternativos en las mezclas asfálticas. Mediante el análisis de las características, la aplicación de los ensayos necesarios, el estudio y comparación de estos materiales, se llegó a la conclusión que podían ser utilizados como sustituto al polvo de piedra, de ahí que se realiza una propuesta de dosificación para el agregado mineral desecho de arena sílice: 62,00 % residuo de arena de fundición + 32,70 % de granito + 5,30 % cemento asfáltico. También se analiza la influencia al medio ambiente del uso de residuos de arenas de fundición y la influencia de los desechos de serpentina en la composición de las mezclas asfálticas. En la presente investigación se profundiza la factibilidad económica de la propuesta. Durante desarrollo del trabajo de diploma se utilizó un sistema de métodos teóricos, empíricos y estadísticos – matemáticos.

Palabras claves: mezclas, serpentina, arena, fundición, ensayos, mezclas asfálticas

Summary

The existing limitations in the treatment of the smelting sand waste from the mechanical company Gustavo Machín de Moa and the serpentine waste from the nickel and cobalt producer Ernesto Che Guevara constitutes a serious problem for the entities and for the environment . The present research aims to evaluate these residues for use as alternative materials in asphalt mixtures. By analyzing the characteristics, the application of the necessary tests, the study and comparison of these materials, it was concluded that they could be used as a substitute for the stone powder, hence a proposal of dosage for the aggregate Mineral waste sand silica: 62,00 % casting sand residue + 32,70 % granite + 5,30 % asphalt cement. The influence on the environment of the use of smelting sands and the influence of serpentine debris on the composition of asphalt mixtures is also analyzed. In the present investigation the economic feasibility of the proposal is deepened. During the development of the diploma work, a system of theoretical, empirical and statistical - mathematical methods was used.

Keyword (s): blends, serpentine, sand, castings, tests, asphalt mixtures

Índice	Pág.
Introducción.....	1
1. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	5
1.1 Introducción.....	5
1.2 Áridos. Términos y definiciones.....	5
1.3 Clasificación, propiedades físicas y químicas del asfalto.....	7
1.4 Características de los hormigones asfálticos.....	8
1.4.1 Algunas de las principales características de las mezclas asfálticas para bacheo.....	9
1.4.2 Funcionalidad de las mezclas asfálticas en los firmes.....	9
1.5 Tendencias acerca del uso los desechos serpentínicos y desechos de arena sílice como materiales de construcción en el mundo.....	10
1.5.1 Referentes teóricos sobre el estudio de desechos serpentínicos.....	10
1.5.2 Referentes teóricos sobre el estudio de los desechos de arena sílice.....	11
1.6 Estado que presentan los desechos serpentínicos y los desechos arena sílice como materiales de construcción alternativos en Cuba.....	13
1.6.1 Referentes teóricos sobre el estudio de desechos serpentínicos.....	13
1.6.1.1 Características generales de los materiales serpentínicos.....	16
1.6.2 Referentes teóricos sobre el estudio de los desechos de arena sílice.....	17
1.6.2.1 Características generales de los desechos de arena sílice.....	18
1.7 Caracterización del flujo tecnológico de las plantas en estudio.....	20
Conclusiones parciales.....	22
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
2.1 Introducción.....	23
2.2 Métodos de investigación utilizados.....	23
2.2.1 Los métodos de investigación empleados en el trabajo son los siguientes..	23
2.3 Los materiales a utilizar en la investigación son.....	24
2.3.1 Equipamientos para la preparación mecánica de la materia prima (desechos de serpentina).....	24
2.4 Método empleado en la experimentación.....	24
2.5 Diseño de experimento.....	24
2.6 Selección y preparación de las muestras.....	25
2.6.1 Trituración.....	25

2.6.2 Molienda.....	26
2.7 Diseño de la mezcla asfáltica	27
2.8 Ensayos que se le realizan a la materia prima	27
2.9 Propiedades consideradas en el diseño de mezclas asfálticas.....	30
2.10 Ensayos realizados al asfalto	33
2.10.1 Penetración	33
2.10.2 Punto de ablandamiento.....	34
2.10.3 Ductilidad	34
2.10.4 Pérdida por calentamiento de la película delgada	35
2.10.5 Punto de inflamación	36
2.10.6 Solubilidad.....	36
2.10.7 Peso específico	36
Conclusiones parciales:.....	37
3. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	38
3.1 Introducción.....	38
3.2 Diseño de mezclas asfálticas con desechos de arena de fundición y desecho de serpentina como sustituto del polvo de piedra.....	38
3.2 Resultados de los ensayos con las materias primas en el asfalto	42
3.2.1 Resultados para los desechos de arena sílice.....	43
3.2.2 Resultados para los desechos de serpentina	44
3.3 Análisis de los resultados	47
3.3.1 Análisis medioambiental.....	47
3.3.2 Análisis técnico para los desechos de arena sílice y desechos de serpentina	50
3.3.3 Análisis económico para los desechos de serpentina y arena sílice residual de fundición.....	50
Conclusiones parciales:.....	51
CONCLUSIONES	52
RECOMENDACIONES	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
ANEXOS.....	57

Introducción

El municipio de Moa presenta un déficit de materiales de la construcción, de asfalto y principalmente de áridos. Los centros productores de estos materiales se encuentran bastantes alejados de las fuentes de consumo y entre sí, lo que hace más compleja la satisfacción de la demanda por la insuficiencia también del transporte en este lugar.

Este territorio es uno de los de mayor desarrollo industrial del país y del total de avenidas y otros viales, un elevado por ciento se encuentra en mal estado. La cantidad de ellas a reconstruir y que se encuentran en un nivel de ejecución, pudiera ser uno de los más bajos del país, lo cual significa que para volver a tener nuevas calles y avenidas hay que reconstruirlas totalmente desde los orígenes con el supeditado aumento de las necesidades de materiales en especial de áridos.

Dos semblantes que en lo social serán de primer orden, son los relativos a la posibilidad de realizar el plan de obras sociales en particular el de la parte de los viales, mediante el empleo de materiales existentes en la localidad. En este sentido el hecho de que los materiales que vamos a emplear tendrían ya realizado un proceso inicial en su preparación mecánica, esto conlleva a que haya una disminución en la parte de los indicadores energéticos que se requieren para realizar este tratamiento mecánico. El aporte económico se logrará además como resultado de la economía de esta etapa de extracción y transportación, y sobre todo la garantía del abasto de áridos para estas zonas afectadas que tanto lo necesitan.

El desarrollo de nuevos proyectos turísticos y sociales, el crecimiento de los asentamientos poblacionales, del parque vehicular y del tráfico de diseño demanda a su vez modificaciones en la infraestructura vial. Estas lamentablemente no pueden en muchas ocasiones realizarse en su totalidad.

Varias son las causas que no lo permiten, pero sin lugar a dudas, el déficit de materias primas, entre ellas los áridos, es fundamental.

La provincia de Holguín posee dos plantas de asfalto, una al este en el municipio de Sagua de Tánamo y la otra en Rafael Freyre. En la primera se obtiene los áridos del río Sagua y la segunda es abastecida por la cantera “200 Mil”, de la cual reciben árido de 3/8’ y polvo de piedra. Si bien se pueden presentar problemas con los suministros a estas plantas, se cuenta con otras alternativas no explotadas que permiten dar solución a estas dificultades.

Importancia de los agregados asfálticos. (Materiales pétreos)

También conocidos como roca, material granular o agregado mineral, es cualquier material mineral duro e inerte, en forma de partículas granuladas o fragmentados, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica en caliente. Los agregados típicos incluyen arena, grava, piedra triturada, escoria y polvo de roca. El agregado constituye entre el 90 y el 95 % en peso y entre el 75 y el 85 %, en volumen, de la mayoría de las estructuras de pavimento. El comportamiento de un pavimento se ve altamente por la selección apropiada del agregado, debido a que el agregado mismo proporciona la mayoría de las características de capacidad portante.

El uso moderno del agregado asfáltico para carreteras y construcción de calles creció rápidamente con el surgimiento de la industria automotriz. Desde entonces, la tecnología del asfalto ha dado grandes pasos. Hoy en día, los equipos y los procedimientos para construir estructuras de pavimentos asfálticos son bastantes sofisticados. Una regla que no ha cambiado a través de la larga historia del asfalto en la construcción, es la siguiente: Un pavimento es tan bueno como los materiales y calidad del proceso constructivo.

Los pavimentos asfálticos están compuestos de dos materiales: asfalto y agregado pétreo, en consecuencia, es posible construir diferentes tipos de pavimentos asfálticos:

Concreto asfáltico (mezcla asfáltica en caliente)

Capa asfáltica de fricción con granulometría abierta

Mezcla asfáltica de arena

Mezcla asfáltica de poco espesor

Mezcla con asfalto emulsificados (mezcla en frío)

Un pavimento de concreto asfáltico construido adecuadamente es impermeable y resistente a muchos tipos de daños químicos.

Situación problemática

La investigación pretende demostrar la posible utilización de los desechos de serpentina de la Empresa Productora de níquel y cobalto Ernesto Che Guevara y la arena sílice de desecho del Combinado Mecánico Gustavo Machín como áridos finos asfálticos, y a la vez proponer una vía tecnológica para su elaboración.

Problema científico a resolver

Insuficiente conocimiento de los desechos de serpentina y el desecho de arena sílice para ser empleadas como soluciones alternativas, en las mezclas asfálticas en el municipio de Moa.

Objetivo

Realizar una valoración técnica de los desechos de serpentina de la Empresa Productora de níquel y cobalto Ernesto Che Guevara y la arena sílice de desecho del Combinado Mecánico Gustavo Machín, que permitan recomendar su empleo como árido fino asfáltico, con vista a potenciar el mejoramiento de los viales en el municipio.

Hipótesis

Si se logra realizar la valoración técnica de los desechos de serpentina de la Empresa Productora de níquel y cobalto Ernesto Che Guevara y la arena sílice de desecho del Combinado Mecánico Gustavo Machín para su empleo como

árido fino asfáltico para la reconstrucción de viales en el municipio de Moa, se logra un aporte económico, social y ambiental de gran impacto en este programa.

Objetivos específicos

Caracterizar química y mineralógicamente las materias primas a emplear.

Determinar el comportamiento de las materias primas como agregados asfálticos.

Campo de acción

Desechos de serpentina de la Empresa Productora de níquel y cobalto Ernesto Che Guevara y la arena sílice de desecho del Combinado Mecánico Gustavo Machín como mezclas asfálticas (agregados asfálticos).

Tareas de la investigación

Búsqueda y revisión de la literatura publicada relacionada con las materias primas y hormigones asfálticos.

Búsqueda, selección y preparación de la muestra.

Análisis de las perspectivas de la utilización de los desechos de serpentina y desechos de arena sílice como árido fino para un hormigón asfáltico.

Resultados esperados

Caracterización de las materias primas investigadas.

Comportamiento de estas materias primas como agregados asfálticos.

1. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

1.1 Introducción

En el presente capítulo se exponen los principales problemas tanto en el mundo como en Cuba y el área de estudio que es el municipio de Moa acerca de los desechos serpentiniticos de la Empresa Productora de Níquel y Cobalto “Ernesto Che Guevara” (NiECG) y la arena sílice después de ser utilizada en el proceso de fundición de la Empresa Mecánica del Níquel (EMNi), también se aborda de la necesidad de utilizar estas materias primas como sustituto en la creación de un hormigón asfáltico.

1.2 Áridos. Términos y definiciones

Se brinda a continuación el esclarecimiento de algunos términos que se emplean en el desarrollo del trabajo relacionado con las materias primas a utilizar, para una mejor comprensión de los aspectos siguientes. Los términos siguientes fueron tomados de la Oficina Nacional de Normalización NC-991:2013 Materiales de la construcción. Áridos. Términos y definiciones.

Árido: se denomina comúnmente árido a una serie de rocas que, tras un proceso de tratamiento industrial (simple clasificación por tamaños en el caso de los áridos naturales, o trituración, molienda y clasificación en el caso de los áridos de machaqueo), se emplean en la industria de la construcción en múltiples aplicaciones, que van desde la elaboración, junto con un material ligante de hormigón, morteros y aglomerados asfálticos, hasta la construcción de bases y sub – bases para carreteras, balastos y sub – balastos para las vías de ferrocarril, escolleras, defensa en la construcción de puertos marítimos. (Amoedo Fernández, 2005)

Los áridos constituyen uno de los materiales básicos e imprescindibles en la construcción de edificaciones, obras civiles e infraestructuras de cualquier país y por ello, un indicador muy preciso del estado de su economía y de su desarrollo socioeconómico.

Árido fino (arena): árido que posee partículas de un tamaño desde 0,149 mm hasta 4,76 mm, el árido fino puede estar descrito como arena natural (cernida o beneficiada) y como arena de grava triturada y arena de roca triturada. (Amoedo Fernández, 2005)

Fracción: porción de árido expresada por los números que representan las aberturas nominales (o equivalentes) en mm de dos tamices normalizados, donde el número mayor, denominado límite nominal superior corresponde al tamiz de mayor abertura por donde pasa prácticamente toda la porción de árido (90% - 85%aproximadamente) y el segundo denominado límite nominal inferior corresponde al tamiz de menor abertura donde queda retenida prácticamente su totalidad. (Amoedo Fernández, 2005)

Áridos para asfalto: productos de origen pétreos extraídos desde cantera procesados en planta primaria, secundaria y terciaria con aplicación de procesos industriales de triturado. (Cuadrado Aranda, 2016)

Mezclas para bacheo: son mezclas asfálticas en frío-pre dosificadas, en sus inicios fueron destinadas principalmente a la reparación de zonas pequeñas de pavimento deteriorado por las sollicitaciones de los vehículos, son mezclas confeccionadas principalmente con emulsiones que pueden ser aniónicas o catiónicas según el tipo de árido. La ventaja de esta mezcla es su fácil colocación y su capacidad de almacenamiento. (Instituto Mexicano del Transporte, 2004)

Mezcla asfáltica: también reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua. Se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan. (Iokin, 2008)

Asfalto: es un material negro, cementante, que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando), a temperaturas

ambientales normales. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual permite cubrir las partículas del agregado durante la producción de la mezcla caliente. Esto significa que un pavimento de concreto asfáltico construido adecuadamente es impermeable y resistente a muchos tipos de daños químicos. El asfalto cambia cuando es calentado y/o envejecido. Tiende a volverse duro y frágil y también a perder capacidad de adherirse a las partículas de agregados. Estos cambios pueden ser minimizados si se comprenden las propiedades del asfalto. (Izquierdo Plascencia, 1994)

1.3 Clasificación, propiedades físicas y químicas del asfalto

Propiedades químicas del asfalto

El asfalto tiene propiedades químicas que lo hacen muy versátil como material de construcción de carreteras.

En la actualidad no hay una prueba normal para la composición química de asfaltos que sea aceptada. Los ensayos existentes para analizar composiciones químicas de equipos sofisticados y pericia técnica que no está disponible en la mayoría de los laboratorios donde se hacen pruebas de asfalto. La relación entre la composición química del cemento asfáltico y su comportamiento de la estructura del pavimento es todavía incierta.

Propiedades físicas del asfalto: las propiedades físicas del asfalto de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras son: durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento.

Los agregados usados en pavimentos asfálticos se clasifican, generalmente, de acuerdo a su origen. Estos incluyen: agregados naturales, agregados procesados y agregados sintéticos o artificiales.

Agregados naturales: los agregados naturales son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento. Ellos están constituidos por partículas producidas mediante procesos naturales de erosión y

degradación. Los principales tipos de agregado natural usados en la construcción de pavimento son la grava y la arena.

Agregados procesados: los agregados procesados son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. Existen dos fuentes de agregados procesados:

Gravas naturales que son trituradas para volverlas más apropiadas para pavimento de mezclas asfálticas y fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes que deben ser reducidas en tamaño.

Agregado sintético: los agregados sintéticos o artificiales no existen en la naturaleza. Ellos son el producto del procesamiento físico o químico de materiales. Algunos son subproductos de procesos industriales de producción como refinamiento de metales. Otros son producidos mediante el procesamiento de materia prima.

1.4 Características de los hormigones asfálticos

Se caracterizan por su trabajabilidad tras la fabricación incluso durante semanas, la cual se debe a que el ligante permanece un largo periodo de tiempo con una viscosidad baja debido a que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado: el aumento de la viscosidad es muy lento en los acopios, haciendo viable el almacenamiento, pero después de la puesta en obra en una capa de espesor reducido, el endurecimiento es relativamente rápido en las capas ya extendidas debido a la evaporación del fluidificante. Existe un grupo de mezclas en frío, el cual se fabrica con una emulsión de rotura lenta, sin ningún tipo de fluidificante, pero es menos usual, y pueden compactarse después de haber roto la emulsión. El proceso de aumento paulatino de la resistencia se le suele llamar maduración, que consiste básicamente en la evaporación del agua procedente de la rotura de la emulsión con el consiguiente aumento de la cohesión de la mezcla. En muchas ocasiones, el proyecto de una mezcla asfáltica se reduce a determinar su contenido de ligante, sin embargo, esa es solo la última fase de un proceso más amplio, que

requiere de un estudio cuidadoso de todos los factores involucrados, a fin de garantizar un comportamiento adecuado de la mezcla y un considerable ahorro económico en la solución.

1.4.1 Algunas de las principales características de las mezclas asfálticas para bacheo

- Actualmente se pueden usar como capas de rodado, para tránsito liviano a medio
- Bajo costo por ahorro energético
- Son ecológicas, ya que utilizan emulsiones, aunque algunas empresas las fabrican con cemento asfáltico
- En su confección se pueden utilizar áridos locales
- La mezcla puede mantenerse almacenada por meses
- Se pueden colocar bajo lluvia o en condiciones adversas.

1.4.2 Funcionalidad de las mezclas asfálticas en los firmes

Las mezclas asfálticas como ya hemos visto anteriormente sirven para soportar directamente las acciones de los neumáticos y transmitir las cargas a las capas inferiores, proporcionando unas condiciones adecuadas de rodadura, cuando se emplean en capas superficiales; y como material con resistencia simplemente estructural o mecánica en las demás capas de los firmes.

Como material simplemente estructural se pueden caracterizar de varias formas. La evaluación de parte de sus propiedades por la cohesión y el rozamiento interno es comúnmente utilizada; o por un módulo de rigidez longitudinal y un módulo transversal, o incluso por un valor de estabilidad y de deformación. Como en otros materiales hay que considerar también, la resistencia a la rotura, las leyes de fatiga y las deformaciones plásticas.

El comportamiento de la mezcla depende de circunstancias externas a ellas mismas, tales como son el tiempo de aplicación de la carga y de la temperatura. Por esta causa su caracterización y propiedades tienen que estar vinculadas a

estos factores, temperatura y duración de la carga, lo que implica la necesidad del conocimiento de la reología del material.

1.5 Tendencias acerca del uso los desechos serpentínicos y desechos de arena sílice como materiales de construcción en el mundo

1.5.1 Referentes teóricos sobre el estudio de desechos serpentínicos

La serpentinita se encuentra habitualmente asociada a importantes yacimientos de cobre, hierro, níquel, amianto y talco. Se usa fundamentalmente en la construcción y trabajada en láminas delgadas, se emplea para el cubrimiento de tejados y revestimientos exteriores. También se corta y pule para usarla como material ornamental de gran efecto.

Aspecto: es muy característico, presenta un color verde oscuro y negro y tiene una textura laminar, con frecuentes manchas -denominadas zonaciones- formadas por la presencia de mayor cantidad de otros elementos, especialmente el piroxeno.

Componentes: principalmente, la serpentinita está formada por serpentina-antigorita, lizardita y magnetita, de forma accesoria, aparece serpentina en vetas crisotilo y a menudo también se encuentra amianto, talco, garnierita, brucita y clorita, en menor medida, magnesita, dolomita o calcita.

A nivel mundial se han reportado la explotación de minerales serpentínicos como materiales de construcción.

Tal es el caso del área de Bandeira - Silleda (Pontevedra), en España donde se explota una peridotita serpentinizada, que se destina casi en su totalidad a áridos. La explotación más importante es la cantera de Campomarzo, propiedad de Explotación Minera Campomarzo S.A., que extrae y machaca unas de 300 000 t/año de áridos, destinados a balasto de ferrocarril y obras públicas. Se ha reportado que en España en el municipio de Moeche, existe una explotación de serpentina (formada por metamorfismo de rocas ultra básicas), llamada cantera Penas Albas, cuya producción (unas 50 000 t/año) se utiliza como fundente

básico en la siderurgia de Avilés. La cantera dispone de una pequeña planta de machaqueo dependiente.

Según la publicación El Universal de Caracas. - El asesor en minería de Corpollanos, Simón Rodríguez, informó que las explotaciones racionales de las rocas de serpentinita tienen un gran valor económico, ya que permite fertilizar los suelos ácidos que componen cerca del 60 % de los terrenos agrícolas de Guárico y los cuales se encuentran ubicados principalmente en el eje comprendido entre las ciudades de El Sombrero y Valle de la Pascua, así como Cabruta, al sur de esta entidad regional. La serpentinita podría sustituir a la dolomita, un carbonato de calcio con un porcentaje de magnesio que se ubica entre 18 y 19 %, el cual se ha usado como fertilizante magnesiano en la parte norte del país.

1.5.2 Referentes teóricos sobre el estudio de los desechos de arena sílice

La arena sílice o cuarzosa, procede de la desintegración de las rocas silíceas, y está constituida por granos de cuarzo cuya fórmula química es SiO_2 . Forma depósitos sedimentarios en los que fueron lechos de antiguos ríos o mares. El cuarzo es uno de los minerales más abundantes en la corteza terrestre.

Entre sus principales propiedades se encuentran

- Dureza según escala de Mohs: 7.
- Tipo de fractura: concoidea (forma de concha).
- Peso específico: 2.5 – 2.7. En las variedades puras es 2.65.
- Temperatura de fusión: 1713 °C.
- Resistente a los ácidos (excepto el fluorhídrico), siendo atacado por los álcalis.

Son precisamente estas propiedades las que definen sus diferentes empleos, entre los que están:

- Industria del Vidrio. Es la materia prima principal para la fabricación del vidrio. Para los vidrios ópticos se requieren de una altísima pureza y para el vidrio blanco un bajo contenido de hierro. La granulometría a emplear oscila entre 0.6 – 0.1 mm.

Especificaciones químicas para su uso en el vidrio: $\text{SiO}_2 > 99.5\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0.04\text{Al}_2\text{O}_3 < 0.3\text{TiO}_2 < 0.1\text{Cr}_2\text{O}_3 < 2 \text{ ppm}$.

- Industria Cerámica: Es también una de las materias primas básicas en la fabricación de porcelana y loza.
- Industria Metalúrgica: Se emplea de conjunto con arcillas y otras materias primas en la conformación de los moldes de fundición.
- Construcción: Como material integrante de mezclas de morteros y hormigones, material de relleno, etc.
- Abrasivos: Debido a su dureza se emplea como abrasivos en las máquinas de chorro de arena, papel de lija para maderas, aunque no es un abrasivo de calidad debido a que para la salud humana resulta nocivo estar expuesto a los polvos de sílice libre (que provocan la enfermedad profesional silicosis), debido a esto, hay países donde se regula el empleo con estos fines. Su forma de fractura concoidea no favorece la regeneración de aristas aspecto esencial para un buen abrasivo. No obstante, su bajo precio hace que todavía se emplee en el pulimento de superficies.

Las arenas empleadas en fundición pueden ser de varios tipos, son las de cuarzo las que superan a todas las demás en cuanto a aplicación se refiere. Esto se debe a que las arenas de cuarzo constituyen un material barato, abundante y de tan buenas propiedades técnicas como los demás tipos de arenas de fundición. El componente fundamental de las arenas de cuarzo es el dióxido de silicio (SiO_2). (Claro, 2006)

1.6 Estado que presentan los desechos serpentiniticos y los desechos arena sílice como materiales de construcción alternativos en Cuba

1.6.1 Referentes teóricos sobre el estudio de desechos serpentiniticos

Los materiales de construcción constituyen una prioridad para el municipio, provincia y país. Los áridos en Moa se necesitan para la construcción y reparación de viales.

En (Rodríguez, 1985) en el trabajo, “Materiales serpentiniticos en la construcción de presas de materiales locales.” está encaminado a mostrar el uso del material serpentinitico en la construcción de presas locales. En la parte general del trabajo se expone el resultado de un análisis detallado de los materiales de archivo y de las investigaciones realizadas para la utilización del material serpentinitico como base de las obras hidráulicas y para su empleo como material de construcción. Abordó además la clasificación de las rocas y su composición química y mineralógica, así como los resultados de las investigaciones geológicas realizadas para el diseño de presas locales en los cuales se han empleado materiales serpentiniticos.

Trabajos realizados en cuanto al uso de estos materiales se deben a la propia minería en la construcción de escolleras y en el mejoramiento de los caminos mineros y respecto a los estudios realizados por (Casall, 1986) referido a las Serpentinitas en la Construcción de Obras Hidráulicas y más recientemente los de (López, 2006), sobre la caracterización geológica de las materias primas minerales de los Municipios Moa – Sagua de Tánamo para su empleo como materiales de construcción en el cual se estudia y analiza la composición granulométrica del material grueso mayor de 20 mallas para su posible utilización como árido en la construcción y donde el 21, 92 % de las muestras está constituido totalmente por material grueso (fragmentos de serpentinitas).

En el Informe sobre la Caracterización del Mineral de rechazo por el proceso de Planta de Preparación de Pulpa de Lavaut y otros en el 2001 se hace referencia a un rechazo de serpentinitas no menor del orden de 200 000 m³ al año.

En (Céspedes, 2007) en su trabajo, “Caracterización y perspectivas de uso del rechazo serpentínico de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” como árido para la construcción”, realiza una evaluación de este residuo con el objetivo de utilizarlo en la industria de los materiales de construcción. En el cual fueron tomadas una serie de muestras del material serpentínico y enviado al Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de Construcción (CTDMC), donde se realizaron una serie de ensayos destinados a conocer las propiedades físicas – mecánicas y químicas que tendría un árido de este material, teniendo en cuenta los principales aspectos que imposibilitarían su uso, donde se demuestra la factibilidad de empleo de estas rocas como áridos para obras sociales del Gobierno en hormigones hasta 30 MPa.

(Montero, 2007) en su trabajo, “Caracterización y perspectivas de uso del rechazo serpentínico de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba” como árido”, realizó ensayos similares a los de (Céspedes, 2007), pero en este caso el material que utilizó para los ensayos fue el rechazo serpentínico de la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba.

Existe referencia de la utilización de las serpentinas en el proceso de hormigonado de la Termonuclear de Cienfuegos. “Para la protección contra neutrones interesan materiales de elevada sección de captura que, en general, son cuerpos que poseen elementos de número atómico pequeño, siendo muy eficaces los cuerpos hidrogenados, agua, polietileno, hidruros, madera comprimida, etc. El hormigón es un buen material de protección debido a que posee los elementos precisos para capturar los neutrones y para atenuar la radiación gamma. Posee hidrógeno, agua en el gel de cemento hidratado, agua libre entre sus poros y agua de cristalización en algunos áridos, especialmente si éstos son pesados seleccionados con este fin, puesto que al mismo tiempo que actúan frenando los neutrones, al poseer calcio, silicio e hierro, pueden absorber también las radiaciones gamma”. (Información oral del Dr. Antonio

Rabilero Bouza e Ing. Elena Téllez Girón para el trabajo realizado por (Lueges, 2008).

En el trabajo de (Cardero,2007), " Estudio del proyecto de una planta procesadora de grava y arena para el municipio de Moa", se establecen los parámetros tecnológicos del proceso de preparación mecánica y beneficio de los materiales de construcción, al igual que se intentan diseñar algunos de los equipos componentes del proceso tecnológico de producción de áridos, donde se tienen en cuenta materias primas tales como vidrio volcánico, aluviones y materiales serpentiniticos rechazados en el proceso CARON de La Empresa "Comandante Ernesto Che Guevara".

En el (León, 2007) y otros en el trabajo "Propiedades de la Menas Niquelíferas del yacimiento Punta Gorda". Interrelación con la cadena productiva y beneficio de las mismas, presentado y discutido en la Segunda Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, se demuestran los beneficios físicos mecánicos que recibe el mineral durante los eventos que ocurren en el proceso industrial. Recoge, además, las características granulométricas y la composición química del rechazo serpentinitico para las siguientes clases de tamaño: +12 -18; +18 - 25; +25 - 50 y mayores de 50 mm.

(Jiménez, 2008) en su trabajo tenía como objetivo determinar la caracterización química, físico y mecánica del material de rechazo y establecer las características típicas de trituración del material rechazado, en las trituradoras de mandíbulas 320 x 65 mm y 150 x 75 mm, cuyos objetivos demostraron que a través de los ensayos realizados, los desechos serpentiniticos de la Empresa Che Guevara son perspectivas para su posible uso como árido en la industria de los materiales de la construcción. En cuanto a las características típicas de las trituradoras de mandíbulas para un diámetro máximo del grano, igual a 75 mm para la trituradora TQ 320 x 65 y 40 mm para la trituradora TQ 150 x 75, permitió establecer las características de trituración del material serpentiniticos

mediante la determinación del diámetro relativo para ambas trituradoras, a partir de la anchura de la boca de salida y el diámetro de cada clase de tamaño.

Las investigaciones desarrolladas por (Vijaya Kattel,2010) y (Céspedes, 2010) facilitaron la caracterización técnica y la validación de los desechos serpentínicos como materiales de construcción alternativos, aunque solamente para la dosificación del 100 % del material de rechazo en los diferentes productos elaborados.

Los grandes desafíos de la sociedad actual recomiendan el uso integral de los recursos mineros aplicando las nuevas tendencias en materia de desarrollo sostenible, donde la actitud del hombre se convierta en la llave del éxito.

1.6.1.1 Características generales de los materiales serpentínicos

Los materiales serpentínicos son el producto resultante del proceso de metamorfismo de las rocas ultrabásicas. Dentro de la clasificación de las rocas ultrabásicas en Cuba, han sido reportadas las siguientes:

- Dunitas
- Hazburgitas
- Lherzolitas
- Wehrlitas
- Piroxenitas

Estas rocas se encuentran ampliamente distribuidas, formando una franja a lo largo de toda la costa norte de la isla, alcanzando extensión de 900 Km.

Además de su abundancia en todo el territorio nacional, con ellos se relacionan diversos proyectos constructivos con amplias perspectivas para el desarrollo económico del país en la ejecución de obras hidráulicas.

Debido al gran interés que se le atribuye a los áridos como material de construcción, en este trabajo se hará énfasis en sus características más generales en lo que respecta a composición química, mineralógica, dureza, etc.

Las rocas ultra básicas atendiendo a su composición química se caracterizan por presentar muy bajos contenidos de sílice (menor de 45 %) encontrándose dentro de este grupo las peridotitas y piroxenitas.

Con respecto a su composición mineralógica están compuestas por olivino y piroxenos. Por lo que, las rocas ricas en olivino reciben el nombre de peridotitas, aunque en algunos petrógrafos excluyen a la dunita y denominan peridotitas a las mezclas con piroxeno.

1.6.2 Referentes teóricos sobre el estudio de los desechos de arena sílice

Cuba posee varios yacimientos de cuarzo, algunos muy notables por su alta pureza y calidad. Los principales yacimientos en explotación para la producción de mezclas de moldeo se encuentran en la provincia de Pinar del Río (Guane, Santa Teresa, Cortés, Santa Bárbara); en la Isla de la Juventud (Buenavista) y en el municipio de Trinidad de la provincia de Santi Spíritus (Casilda). La mayoría de las arenas de cuarzo cubanas se caracterizan por un alto contenido de SiO₂ (95 %) y un contenido relativamente bajo de impurezas, por lo que encuentran aplicación como arena de moldeo en fundición. Una vez empleadas, mantiene sus propiedades, por lo que puede estudiarse la posibilidad de utilización en otros campos.

Se han investigado 14 yacimientos de arena sílice en el país, y se han empleado como materia prima en las industrias del vidrio, cerámica, metalurgia y construcción.

Las características fundamentales de las arenas de moldeo más utilizadas en la industria de la fundición (sílice, cromita, circonio, olivino), se describen en el trabajo realizado por (Larrañaga y Armazabal, 2000); se realizan comparaciones entre sus principales propiedades (dureza, densidad, temperatura de fusión y dilatación lineal) y se analizan además las características de los materiales auxiliares para preparar las mezclas de moldeo.

(Oliveros, 2002), caracteriza desde el punto de vista físico – mecánico las arenas sílice, olivino y cromita, y determina los parámetros y propiedades de las mezclas autofraguantes. Evalúa la factibilidad económica del uso de estas mezclas con la utilización de las arenas cubanas.

(Guerrero, 2008), realizó varios experimentos con la arena sílice en el moldeo autofraguante, y evalúa la utilización de arena sílice para obtener las piezas de acero al manganeso; obteniendo a escala de laboratorio mezclas de arena sílice según la norma cubana NEIB 03-05-14 para lograr piezas libres de defectos.

(Brocard Rivera, 2011) en una evaluación de mezclas de arcilla de la región de Centeno en el municipio de Moa con arena sílice residual obtenida en la UEB de Fundición de la EMNI del mismo municipio, demostró a partir de las variables estudiadas de acuerdo al % de contracción, % de absorción y resistencia a la compresión que los mejores resultados se obtuvieron con proporciones de 40 % de mezcla de arena sílice residual, 57 % de arcillas roja y 3 % de agua.

Por la gran disponibilidad de estas materias primas en nuestro territorio y las grandes posibilidades de empleo, se hace necesaria una investigación más exhaustiva de las mismas.

1.6.2.1 Características generales de los desechos de arena sílice

Las arenas sílice o cuarzosa presentan en estado natural, contenidos promedios de SiO_2 entre 97 y 99%. El contenido de hierro, que es el que determina por lo general el uso, oscila entre 0.01 % y 0.17 %, aunque existen yacimientos en los cuales se excede este valor. Generalmente, estos yacimientos son de arenas finas, con muy bajos rendimientos en fracciones gruesas (> 0.6 mm), por lo que limita su empleo en limpieza por chorro de arenas (sand blasting).

Actualmente existen tres plantas procesadoras de arena sílice en el país

- **Planta de Arena Sílice de Guane (Pinar del Río).** Fue concebida para explotar el yacimiento “Cortes”, pero actualmente se hace del yacimiento de arena “Santa Teresa”. Por falta de demanda, se aprovecha a un % muy bajo su capacidad de procesamiento, que es, según diseño, de 300.0 Mt/año. El destino principal de su producción es abastecer la industria del vidrio, producción que ha estado muy deprimida en los últimos años.
- **Planta de Arena de Trinidad (Sancti Spiritus).** Aprovecha las arenas del yacimiento de igual nombre, y tiene una capacidad de procesamiento de 80.0 Mt/año (50.0 Mm³/año). El destino principal de su producción es la industria metalúrgica, para su empleo en mezcla para moldes de fundición, que también ha estado muy deprimida en todos estos años.
- **Planta de Arena sílice de Buenavista (Isla de la Juventud).** Está enclavada en el yacimiento de igual nombre. La misma no pertenece al Grupo Empresarial GeoMinSal, sino al MICONS. Es el único yacimiento de arena sílice que tiene un rendimiento aceptable en fracciones gruesas, teniendo como impurezas minerales pesados, como la cianita. Su producción se destina para la fundición (instalación de clasificación vía seca, descapitalizada), y para la construcción (instalación de lavado de arena).

1.7 Caracterización del flujo tecnológico de las plantas en estudio

Planta de Fundición

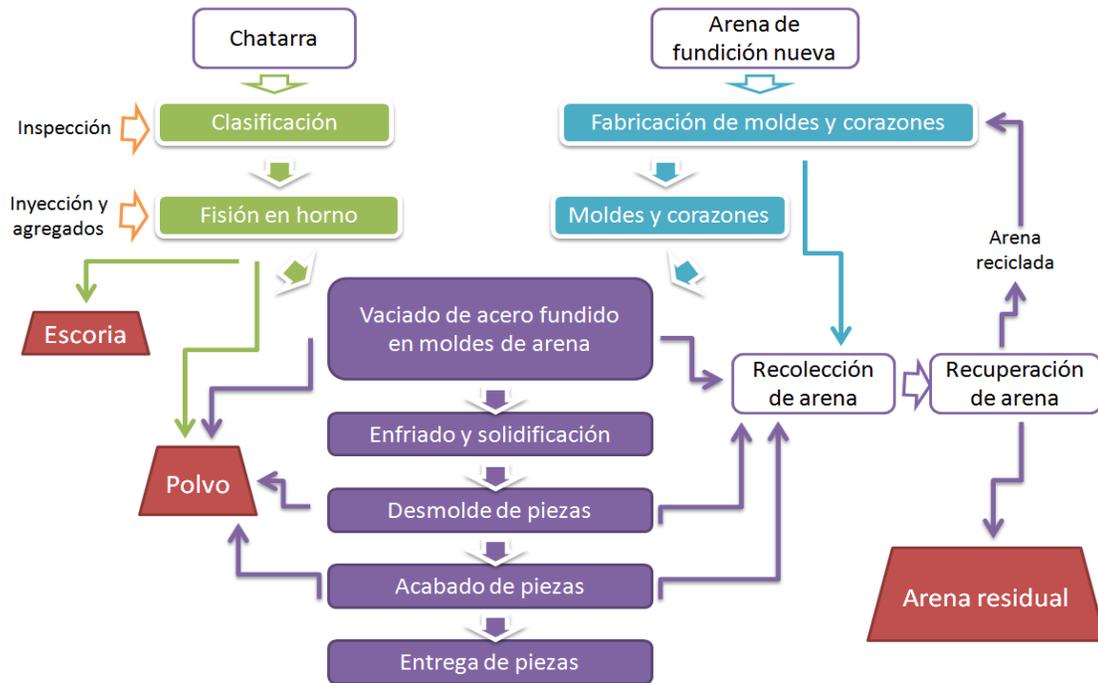


Figura 1. Diagrama de flujo de obtención de la arena residual en la fundición.

El proceso de fundición (Figura 1) consta de la fusión del metal y su incorporación a un molde elaborado con arenas de moldeo que es el negativo de la pieza a producir. Cuando el metal se solidifica se colapsa el molde y se extrae la pieza resultante quedando como residuo las arenas usadas de moldeo. Una parte de éstas se recircula dentro del mismo proceso productivo, sin embargo, una gran parte debe descartarse generándose así los Residuos de Arenas de Fundición (RAF).

Planta de Preparación de Mineral

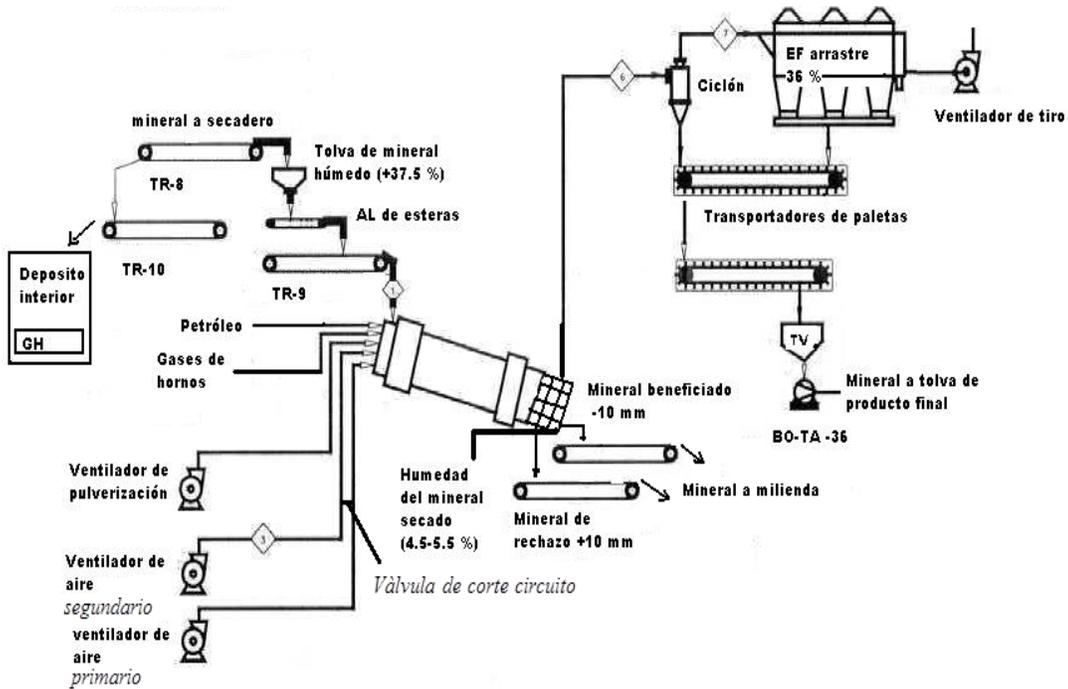


Figura 2. Diagrama de flujo de obtención de los desechos de serpentina.

El mineral al entrar al secadero (Figura 2) lo hará con una humedad aproximadamente de 36 a 38 %, la que puede ser mayor en épocas de lluvia, y saldrá del mismo con 4,0 a 5,5 % según está establecido. Para lograr esto, cada secadero posee una cámara de combustión 121-CC-101-106 dotada de un quemador de petróleo. Se suministra aire de combustión, aire de pulverización, aire secundario mediante ventiladores o gases procedentes de la Unidad Básica de Producción Hornos de Reducción. Los gases combustionados dentro de las cámaras alcanzan una temperatura de 1500 °C y bajan hasta 750 a 850 °C al ponerse en contacto con el aire en exceso que se suministra o gases procedentes de la Unidad Básica de Producción Planta Hornos de Reducción y que sirven para aumentar el volumen de gases necesarios para secar el mineral. La circulación de los gases al tambor secador se realiza en dirección concurrente con el mineral alimentado de forma que, ese contacto gases calientes–mineral permita que este último se vaya secando y se

obtenga al final del secadero un producto con las características adecuadas. Los gases al salir del secadero tendrán una temperatura de 85 a 95 °C. Los gases calientes pueden atravesar el secadero debido a la succión que crean unos ventiladores de tiro 121-VE-108 situados a la salida de cada electrofiltro que posee cada secadero individualmente. Además, estos gases son capaces de arrastrar con ellos del 36 a 40 % del polvo, que entra con el mineral o que se forma durante el proceso de secado y que por lo general poseen una granulometría de $- 0,074$ mm el que será introducido al sistema de colección de polvo. El mineral después de secado, es beneficiado en la descarga del tambor a través de un tromell, mediante el cual se rechazan las rocas mayores de 10 mm hacia el transportador 11 y el resto del mineral es descargado en el transportador 11A, estas correas son denominadas comúnmente correas calientes debido a que son las primeras que hacen contacto con el mineral caliente que sale de los secaderos.

Conclusiones parciales

- El desarrollo del marco teórico de la investigación permitió conocer aspectos generales de los desechos de serpentina y arena sílice residual, así como las características y utilización en el mundo, entre otros, en la industria de la construcción.
- Se expusieron propiedades químicas y físicas de las arenas sílice, utilizadas para el desarrollo de mezclas de moldeo, en la Unidad Empresarial de Base de Fundición de la EMNI ubicada en el municipio de Moa.
- A partir de la bibliografía consultada se considera insuficiente el conocimiento sobre el estudio de las propiedades físico-mecánica de los desechos de serpentina y arena sílice residual, para su uso en la industria de la construcción.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Introducción

La realización del trabajo que se expone en este capítulo se basa en obtener los mejores resultados, para ello es necesario describir los principales materiales a utilizar y los métodos que se emplean. A continuación, se da comienzo a la técnica experimental llevada a cabo, luego se desarrolla la toma de muestras y su ulterior preparación para la realización de los distintos experimentos.

2.2 Métodos de investigación utilizados

Los métodos de investigación pueden dividirse para su estudio en dos grupos: los métodos lógicos y los métodos empíricos. Los primeros son todos aquellos que se basan en la utilización del pensamiento en sus funciones de deducción, análisis y síntesis, mientras que los métodos empíricos, se aproximan al conocimiento del objeto mediante su conocimiento directo y el uso de la experiencia, entre ellos se encuentran la observación y la experimentación.

2.2.1 Los métodos de investigación empleados en el trabajo son los siguientes

1. Método histórico-lógico para la sistematización del conjunto de conocimientos y teorías relacionadas con el objeto de estudio.
2. Método inductivo-deductivo en la caracterización y utilización de arena sílice residual y desechos de serpentina para hacer un hormigón asfáltico en Moa.
3. Método de investigación experimental para describir y caracterizar el objeto estudiado.
4. Técnicas computacionales para el procesamiento de los datos experimentales.

2.3 Los materiales a utilizar en la investigación son

- Mezcla de arena sílice residual de la Unidad Empresarial Básica de Fundición del Combinado Mecánico de Moa.
- Desechos de serpentina de la Unidad Empresarial Básica Preparación de Mineral de la Empresa Productora de níquel y cobalto Ernesto Che Guevara de Moa.
- Agregados pétreos.

2.3.1 Equipamientos para la preparación mecánica de la materia prima (desechos de serpentina)

- Triturador de mandíbula
- Molino de bolas
- Tamizado

2.4 Método empleado en la experimentación

Por la sencillez y la rapidez de la obtención de los resultados, el método tradicional de experimentación, en las investigaciones exploratorias, lo hacen candidato para ser utilizado en este trabajo. El mismo consiste en realizar experimentos en los cuales varía solamente un parámetro y se mantienen constante todos los demás. De este modo, la variación de las respuestas se puede atribuir entonces a un solo factor.

2.5 Diseño de experimento

Para la determinación de la efectividad de la utilización de los desechos de serpentina y los desechos de arena sílice se escogió una muestra de cada materia prima para confeccionar la dosificación del asfalto sabiendo que esta ocupa un 62 % en el hormigón asfáltico y variando la cantidad de cemento asfáltico y el granito 3/8 (10 mm) para realizar el ensayo de Marshall, como se muestra en las tablas 1 y 2. (Vásquez Varela,2015):

Tabla 1. Dosificación de la muestra con desechos de arena sílice

Materiales	%	Rango
Cemento asfáltico	5,3	5,3 - 6,3
Desecho de arena sílice	62	
Granito 3/8(10mm)	32,7	31,7-32,7

Tabla 2. Dosificación de la muestra con desechos de serpentina

Materiales	%	Rango
Cemento asfáltico	5,3	5,3 - 6,3
Desechos de serpentina	62	
Granito 3/8(10mm)	32,7	31,7-32,7

2.6 Selección y preparación de las muestras

2.6.1 Trituración

Para someter las muestras a un proceso de reducción de tamaño se llevaron a cabo dos etapas de trituración. En la primera etapa se utilizó la trituración por impacto de forma manual con una mandarina hasta lograr obtener fragmentos de 100 mm aproximadamente. Después de la trituración manual en que se obtienen tamaños máximos de 100 mm, se lleva a cabo la trituración en una trituradora de mandíbula TQ (150X75) como se ve en la (figura 3); con un diámetro de alimentación de 100 mm y de descarga de 25 mm, respectivamente.

Se trituró a una granulometría entre 10 y 20 mm, en la descarga de la segunda etapa del proceso de trituración. El material sometido a un proceso de molienda.



Figura 3. Trituradora de mandíbulas TQ (150x75) para le preparación mecánica de las serpentinas.

La trituradora de mandíbula TQ (150x75) posee una longitud de la quijada de 150 mm, la boca de alimentación tiene un ancho de 55 mm y largo 75 mm y la boca de descarga posee 3,15 mm.

2.6.2 Molienda

Se utilizó un molino de bolas (figura 4), que posee un diámetro de 198 mm, una longitud de 245 mm y la velocidad de rotación es de 70 r.p.m. Para disminuir el tamaño de las partículas hasta un diámetro menor a 0,25 mm, esta operación se realiza con el material seco durante 10 minutos para evitar que este se pegue a las paredes del molino, luego hubo un cribado previo donde las partículas retenidas en el tamiz que eran las que tenían un diámetro mayor a - 0,25 mm fueron incorporadas nuevamente al proceso de molienda para así alcanzar la granulometría requerida y aumentar la superficie de contacto de las mismas logrando una mayor interrelación entre los materiales empleados y una buena homogenización de la mezcla.



Figura 4. Molino de bolas para le preparación mecánica de las serpentinas.

2.7 Diseño de la mezcla asfáltica

En una mezcla asfáltica en caliente, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas, las que determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el desempeño de la misma como pavimento terminado. Existe un método de diseño comúnmente utilizado para determinar las proporciones apropiadas de asfalto y agregado en una mezcla, el método Marshall.

El diseño de una mezcla asfáltica consiste en seleccionar una granulometría y un porcentaje de asfalto de modo que cumpla las propiedades para la cual fue diseñada. Los métodos de dosificación tienen como fin determinar el porcentaje de asfalto óptimo para una combinación determinada de agregados de acuerdo a las propiedades seleccionadas.

Previo al diseño de la mezcla, es necesario que todos los materiales constituyentes, agregados y asfaltos, sean analizados para decidir si son aptos o no para formar parte del pavimento a construir.

2.8 Ensayos que se le realizan a la materia prima

- Material más fino que el tamiz 0,074 mm.

Se extrae una muestra de 500 g y se le agrega agua limpia hasta quedar cubierto todo el material, después se procede a agitar hasta quedar las

partículas finas en suspensión para separarlas de las partículas más gruesas, luego se hace pasar el agua a través del tamiz de 0,074 mm (Figura 5) varias veces hasta que el agua salga limpia, posteriormente se seca el material que se queda en el recipiente y el que se retiene en el tamiz, se pesa para calcular la pérdida de masa resultante del tratamiento de lavado. (Oficina Nacional de Normalización NC-182:2002)



Figura 5. Material más fino que el tamiz 0,074 mm.

La fórmula para calcular el por ciento de material más fino que pasa por el tamiz de 0,074 mm es:

$$\% \text{ de material que pasa por el tamiz } 0,074 \text{ mm} = \frac{a-b}{a} \times 100 \% \quad (1)$$

Donde:

a: peso de la muestra original seca.

b: peso de la muestra seca después de lavada.

- Ensayo Granulométrico:

Se toma una muestra se pasa a la tamizadora (Figura 6) compuesta por 6 tamices desde el 2,38 mm hasta el 0,074 mm por diez minutos y luego se pesa el contenido retenido por cada tamiz hallando la equivalencia al % acumulado al % que pasa. (Oficina Nacional de Normalización NC-178:2002)



Figura 6. Tamizadora para el ensayo granulométrico

El módulo de finura se puede calcular mediante la expresión:

$$\text{Modulo de finura} = \frac{\sum \% \text{ retenidos}}{100} \quad (2)$$

- **Peso Volumétrico**

En este ensayo se utiliza un recipiente donde se conozca la masa y el volumen, además de una pesa (figura 7). Se vierte la materia prima ligeramente apuntando hacia el centro del envase hasta quedar todo al nivel de él, se pesa y se le da 25 golpes sin afectar la capa se rellena y se pesa. (Oficina Nacional de Normalización NC-181:2002)



Figura 7. Pesa y recipiente para el ensayo de peso volumétrico

Se calcula la densidad suelta y la densidad compactada con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{P - \text{Tara}}{V} \quad (3)$$

Donde:

D: densidad (suelta o compactada)

P: Peso (suelto o compactado)

Tara: Peso del recipiente

V: Volumen del recipiente

2.9 Propiedades consideradas en el diseño de mezclas asfálticas

El diseño de una mezcla asfáltica consiste básicamente en la selección del tipo y granulometría del agregado a emplear, y de la selección del tipo y contenido de asfalto, de tal manera que se obtengan las propiedades deseadas en la mezcla y se satisfagan los requisitos específicos del proyecto. La selección apropiada de los materiales (con la calidad suficiente) que constituirán la mezcla y de sus proporciones correctas, requiere el conocimiento de las propiedades más significativas de las mezclas, y de su influencia en el comportamiento del pavimento. Para una aplicación específica e

independientemente del procedimiento de diseño empleado, las propiedades relevantes en una mezcla asfáltica en caliente son:

- a) Estabilidad
- b) Durabilidad
- c) Flexibilidad
- d) Resistencia a la fatiga
- e) Resistencia al fracturamiento por bajas temperaturas
- f) Resistencia al daño por humedad
- g) Resistencia al deslizamiento
- h) Trabajabilidad

a) Estabilidad o resistencia a las deformaciones plásticas

Esta propiedad se refiere a la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir la deformación y el desplazamiento, debidos a las cargas que resultan del tránsito vehicular. Un pavimento es estable cuando conserva su forma; y es inestable cuando desarrolla deformaciones permanentes, corrugaciones y otros signos de desplazamiento de la mezcla.

La estabilidad depende, sobre todo, de la fricción interna y la cohesión. La fricción interna depende de la textura superficial, forma de la partícula, y granulometría del agregado; así como de la densidad de la mezcla, y la cantidad y tipo de asfalto; mientras que la cohesión depende del contenido de asfalto. La cohesión se incrementa con el incremento del contenido de asfalto, hasta un punto óptimo, después del cual el aumento en el contenido de asfalto forma una película demasiado gruesa en las partículas de asfalto, lo que produce una pérdida de fricción entre las partículas de agregado.

b) Durabilidad

Es la propiedad de la mezcla asfáltica que describe su capacidad para resistir los efectos perjudiciales del aire, agua, temperatura y tránsito que pueden provocar envejecimiento del asfalto, desintegración del agregado y desprendimiento de la película de asfalto del agregado. Una buena mezcla asfáltica no debe sufrir envejecimiento excesivo durante la vida en servicio. Esta propiedad se relaciona con el espesor de la película de asfalto, y con los vacíos de aire.

c) Flexibilidad

Es la capacidad de la mezcla asfáltica para amoldarse, sin sufrir agrietamiento o fisuración, a los asentamientos y movimientos graduales de la base y la subrasante. En ocasiones esta propiedad presenta conflictos con los requerimientos de estabilidad.

d) Resistencia a la fatiga

Es la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir cargas repetidas causadas por el paso de los vehículos. El agrietamiento por fatiga está relacionado con el contenido y la rigidez del asfalto. Por su parte, los contenidos de asfalto muy altos harán que la mezcla tienda más a deformarse elásticamente (o a deformarse menos) que a fracturarse bajo carga repetida. Aunque también debe señalarse que la resistencia a la fatiga depende en gran medida de la relación entre el espesor estructural de la capa y la carga.

e) Resistencia al fracturamiento por baja temperatura

Es la capacidad de la mezcla asfáltica para no agrietarse en condiciones de bajas temperaturas. Depende principalmente de la rigidez del asfalto a bajas temperaturas.

f) Resistencia al daño por humedad o impermeabilidad

Es la resistencia al paso de agua y aire hacia el interior, o a través de la mezcla asfáltica. La resistencia al daño por humedad se relaciona con las propiedades químicas del agregado mineral y el contenido de vacíos de aire en la mezcla

compactada, y por tanto con los procesos de oxidación del asfalto, su adherencia y el drenaje del pavimento.

g) Resistencia al deslizamiento

Es la capacidad de la mezcla asfáltica para no perder adherencia entre el neumático y la superficie de rodamiento, en particular cuando está húmeda. Una resistencia al deslizamiento baja se relaciona generalmente con las características del agregado y el contenido de asfalto.

h) Trabajabilidad

Es la propiedad relacionada con la facilidad con que la mezcla asfáltica es colocada y compactada in situ. Una buena mezcla debe ser capaz de permitir su colocación y compactación, sin que se requiera un esfuerzo demasiado grande. Esta propiedad, generalmente depende de uno, o una combinación, de los siguientes factores: características del agregado, la granulometría, el contenido, y la viscosidad del asfalto.

2.10 Ensayos realizados al asfalto

2.10.1 Penetración

El ensayo de penetración se lleva a cabo sobre los cementos asfálticos, y es una medida de la consistencia de los mismos. Sobre una pasta de asfalto previamente moldeada y calentada a una temperatura constante de 25 °C, se coloca una aguja de acero de diámetro y dimensiones normalizados en el penetrómetro (Figura 8), que soporta un peso de 100 g y se deja caída libre durante 5 segundos. La distancia que la aguja logre penetrar dentro de la pasta asfáltica, medida en décimas de milímetros, se denomina penetración del asfalto. Mientras mayor sea la penetración, más blanda es la consistencia del cemento asfáltico. (Oficina Nacional de Normalización NC-054-023)

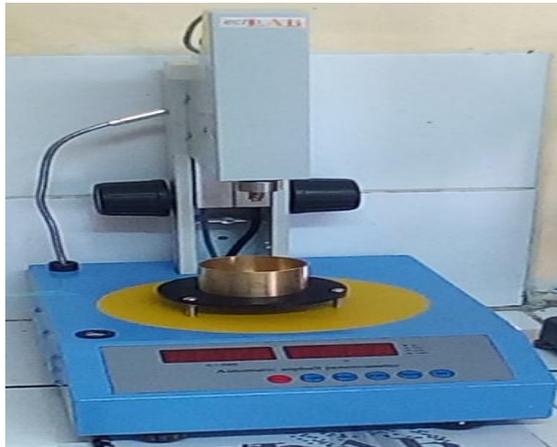


Figura 8. Penetrómetro

2.10.2 Punto de ablandamiento

El punto de ablandamiento es la menor temperatura a la que una muestra, suspendida en un anillo horizontal de dimensiones especificadas, es forzada a caer 25 mm por el peso de una bola de acero especificada, cuando la muestra se calienta mediante incrementos a una velocidad prescrita, en un baño de agua o de glicerina.

La prueba más utilizada para determinar dicho punto es la denominada de anillo y bola. Se determina colocando en un recipiente con agua a una determinada altura sobre el fondo, un anillo de latón de dimensiones establecidas, el cual se llena previamente con asfalto y se deja enfriar a temperatura ambiente durante cuatro horas. Transcurrido ese tiempo, se coloca una esfera de 9.51 mm de diámetro, y se calienta el baño de tal manera que la temperatura suba a velocidad constante. Debido al calor, el asfalto se ablanda y la esfera desciende gradualmente envuelta en una bolsa de asfalto hasta tocar el fondo. La temperatura del baño en ese instante se le denomina punto de ablandamiento. (Oficina Nacional de Normalización NC- 054- 048)

2.10.3 Ductilidad

Una propiedad que tienen los asfaltos es su gran capacidad de mantenerse coherentes bajo las grandes deformaciones inducidas por el tránsito. La ductilidad se mide por un equipo denominado ductilímetro (Figura 9). En el

ensayo se mide la resistencia a la ruptura por medio del alargamiento de una probeta de cemento asfáltico, estirada en sus extremos a velocidad constante de 5 cm/min. Se realiza a una temperatura de 25 °C.

Los asfaltos dúctiles tienen normalmente mejores propiedades aglomerantes. Por otra parte, asfaltos con una ductilidad muy elevada son usualmente susceptibles a los cambios de temperatura.



Figura 9. Ductilímetro

2.10.4 Pérdida por calentamiento de la película delgada

El ensayo de pérdida por calentamiento de la película delgada es un procedimiento que trata de simular en el laboratorio las condiciones que producen un aumento de la consistencia del asfalto durante las operaciones de mezclado en la planta. Mide el endurecimiento o posible grado de envejecimiento del cemento asfáltico durante las operaciones de mezclado.

Primeramente, se calienta una película de asfalto a una temperatura de 163 °C durante cinco horas. Pasado este tiempo se somete a los ensayos de penetración, punto de ablandamiento y viscosidad. Se calcula el porcentaje de pérdida de peso, la penetración retenida, el aumento del punto de ablandamiento y el incremento de la viscosidad.

Este ensayo se emplea para prever el endurecimiento que puede esperarse se produzca en el asfalto durante las operaciones de mezclado.

2.10.5 Punto de inflamación

El punto de inflamación o punto de chispa, indica la temperatura a la que puede calentarse el material, sin peligro de inflamación en presencia de llama libre. Esta temperatura, usualmente, es muy inferior a aquella a la que el material ardería o su punto de fuego. Por lo tanto, éste análisis sirve como prueba de seguridad en la operación de las plantas asfálticas en caliente.

El asfalto que se ha de ensayar se coloca en un recipiente especial y se calienta de manera que la temperatura aumente uniformemente. A intervalos frecuentes se pasa por la superficie una llama pequeña y se registra la temperatura a la que surja una llamarada en cualquier punto de la misma, denominada punto de llama.

Este ensayo da una indicación de la volatilidad de los materiales asfálticos y sirve para establecer temperaturas de calentamiento sin peligro de incendios. En su ejecución se puede emplear dos aparatos que satisfacen los mismos fines y que se conocen como: vaso abierto de Cleveland y copa abierta de Tag. (Oficina Nacional de Normalización NC- 054- 047)

2.10.6 Solubilidad

El ensayo de solubilidad determina el contenido de betún en el betún asfáltico. La porción de betún asfáltico soluble en sulfuro de carbono está constituida por los elementos aglomerantes activos.

2.10.7 Peso específico

Aunque normalmente no se especifica, es útil para hacer las correcciones de volumen cuando éste se mide a temperaturas elevadas. Se emplea, también, como uno de los factores para la determinación de los huecos en las mezclas asfálticas para pavimentaciones compactadas.

El peso específico es la relación de peso de un volumen determinado del material al peso de igual volumen de agua, estando ambos a temperaturas especificadas.

El ensayo de destilación se emplea para determinar las proporciones relativas de asfaltos y disolventes presentes. El ensayo se realiza colocando una cantidad específica de cutback en un matraz de destilación conectado a un condensador.

Determinación del peso específico del asfalto

El peso específico es la relación del peso de un volumen determinado de material al peso de igual volumen de agua, estando ambos materiales a temperaturas especificadas. Para fijar condiciones determinadas aplicables a un valor dado del peso específico, debe indicarse la temperatura del material y del agua. Es uno de los factores para la determinación de los huecos en las mezclas asfálticas útil para hacer las correcciones de volumen cuando este se mide a temperaturas elevadas. (Oficina Nacional de Normalización NC-054-079)

Conclusiones parciales:

- Los métodos y técnicas experimentales utilizadas para el análisis están fundamentadas a partir de la necesidad de la descripción y caracterización de las materias primas en estudio que forman parte del rechazo en sus respectivos procesos para su utilización como árido fino asfáltico.
- Los métodos experimentales de investigación utilizados se complementan con el empleo de una actualizada base experimental y equipamiento adecuado para el desarrollo de las pruebas realizadas.

3. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1 Introducción

En el presente capítulo se exponen los resultados de los ensayos realizados a las materias primas y al asfalto, los cuales se apoyaron en una amplia búsqueda bibliográfica que permitió de manera coherente profundizar en las valoraciones científicas de los resultados alcanzados.

3.2 Diseño de mezclas asfálticas con desechos de arena de fundición y desecho de serpentina como sustituto del polvo de piedra

Para lograr el diseño de mezclas asfálticas se realizan diversos ensayos con el fin de comprobar la calidad que pueden alcanzar las mismas. En el caso de los desechos de arena de fundición y los desechos de serpentina, se desea utilizarlos como sustituto del polvo de piedra. Para comprobar la aptitud del material se le han realizado los ensayos correspondientes, los que se exponen a continuación junto a sus resultados. (Oficina Nacional de Normalización NC-759:2010)

- Material más fino que el tamiz 0,074 mm

Primeramente, se pesó una muestra de 500 g de cada materia prima y se le agregó agua limpia hasta quedar recubierto todo el material. Se agitó la muestra para poner en suspensión las partículas finas hasta lograr que se separaran de las partículas gruesas. Luego se hizo pasar el agua a través del tamiz de 0.074 mm. Se repitió esta operación hasta que el agua salió limpia, posteriormente se secó el material que quedó en el recipiente y el que retuvo el tamiz, y se pesó para calcular la pérdida de masa resultante del tratamiento de lavado.

Utilizando la ecuación (1) obtenemos el por ciento de material más fino que pasa por el tamiz de 0,074 mm.

En la tabla 3 se muestran los resultados del ensayo material más fino que pasa por el tamiz 0,074 mm.

Tabla 3. Material fino que pasa por el tamiz 0,074 mm.

Materia Prima	% de material que pasa por el tamiz 0,74 mm
Arena sílice	3,80
Desecho serpentínico	4,10

- Ensayo Granulométrico

Primeramente, se tomaron una muestra de desechos de arena sílice y una de desechos de serpentina, ambas de 512 g, luego se procede a tamizar las muestras seleccionando 6 tamices desde el de 2.38 mm hasta el 0.074 mm, pasado los diez minutos correspondientes en la tamizadora se pesa el contenido retenido en cada tamiz y se le halla la equivalencia al % acumulado y al % que pasa, todo esto trajo como resultado (tabla 4).

Tabla 4. Resultados de la muestra de desechos de arena sílice

Tamiz (mm)	Retenido (g)	Retenido Acumulado (g)	% Retenido	% Pasa
+2,38 - 1,19	2,00	2,00	0,40	99,60
+1,19 - 0,59	9,00	11,00	2,10	97,90
+0,59-0,297	25,00	36,00	7,00	93,00
+0,297 - 0,149	210,00	246,00	48,00	52,00
+0,149 - 0,074	220,00	466,00	91,00	9,00
+0,074 - 0,00	43,00	509,00	99,40	1,00
0,00	3,00	512,00	100	0

El gráfico siguiente muestra la curva granulométrica del desecho de arena sílice entre el retenido acumulado (%) y la serie de tamices (mm):

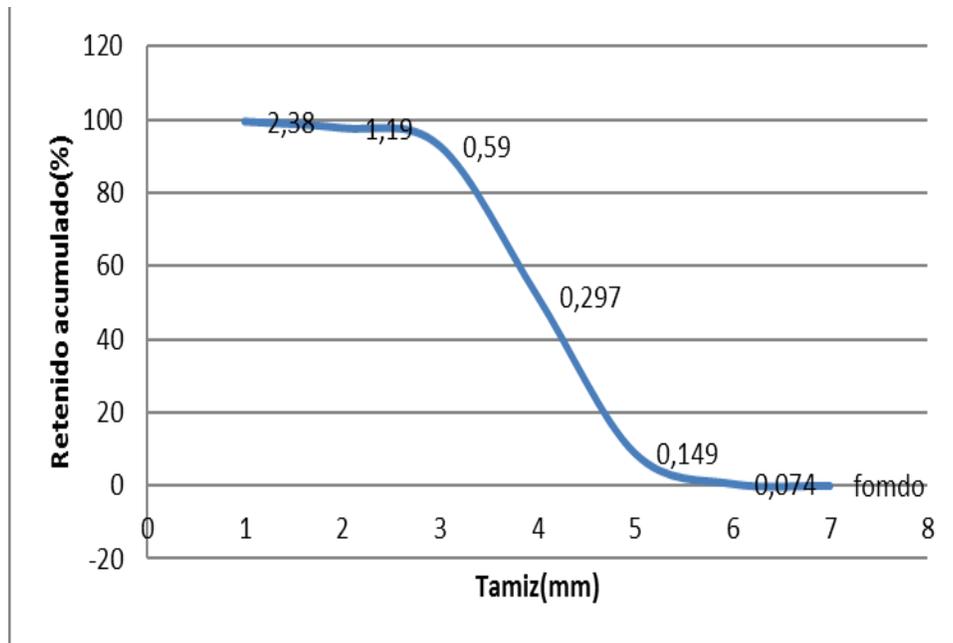


Figura 10. Curva granulométrica para los desechos de arena sílice

La siguiente tabla muestra los resultados del ensayo granulométrico realizado a la muestra de los desechos de serpentina.

Tabla 5. Resultados de la muestra de desechos de serpentina

Tamiz (mm)	Retenido (g)	Retenido Acumulado (g)	% Retenido	% Pasa
+2,38 - 1,19	1,00	1,00	0,20	99,80
+1,19 - 0,59	8,00	9,00	1,80	98,20
+0,59-0,297	23,00	32,00	6,30	93,80
+0,297 - 0,149	257,00	289,00	56,40	43,60

+0,149 - 0,074	193,00	482,00	94,10	5,90
+0,074 - 0,00	28,00	510,00	99,60	0,40
0,00	2,00	512,00	100	0

El gráfico siguiente muestra la curva granulométrica de desechos de serpentina entre el retenido acumulado (%) y la serie de tamices (mm):

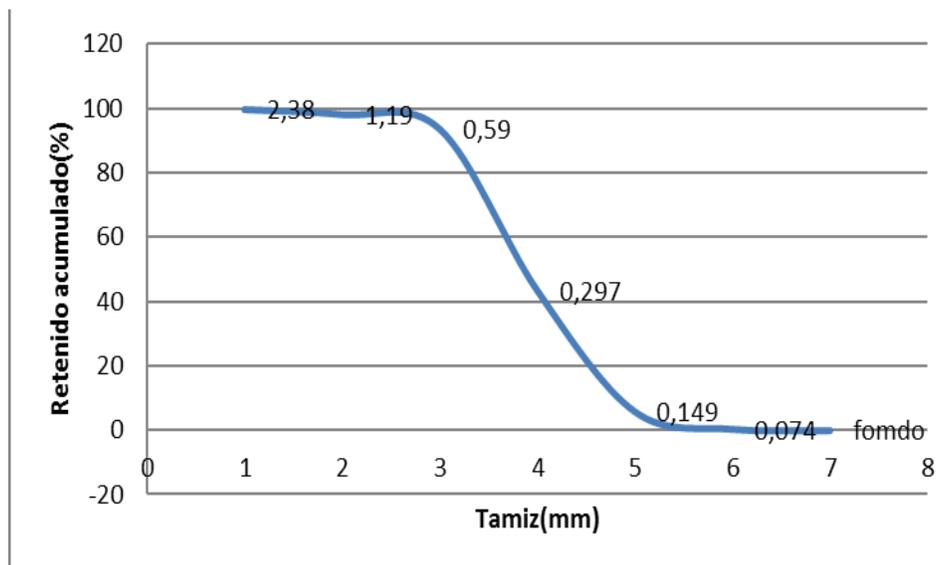


Figura 11. Curva granulométrica para los desechos de serpentina

Teniendo estos resultados se puede calcular el módulo de finura mediante la expresión (2):

De ahí se obtiene el módulo de finura para cada muestra resulta:

Muestra desechos de arena sílice: 2,50 %

Muestra desechos de serpentina: 2,60 %

- Peso Volumétrico.

Para la realización de este ensayo se utilizó un recipiente de masa 1194 g y un volumen de 2720 cm³, además de una pesa. Primeramente, se rellenó siempre vertiendo el material ligeramente apuntando hacia el centro del mismo, luego se

separó el material sobrante hasta quedar todo al nivel del envase, se colocó en la pesa y se obtuvo un peso suelto de 4353 g.

Para determinar el peso compactado el envase se dividió en 3 fracciones iguales, que se convirtieron en tres capas, al ser vertido el material. Cada capa recibió 25 golpes sin afectar la anterior hasta completar el recipiente, luego se pesó y se obtuvo un peso compactado de 4675 g.

Partiendo de los pesos determinados se calculó tanto la densidad suelta como la compactada a través de la ecuación (3) expuesta a continuación:

Se obtuvo que para el desecho de arena sílice:

$$D_{\text{suelta}}=1,16 \text{ g/cm}^3$$

$$D_{\text{compactada}} = 1,28 \text{ g/cm}^3$$

Se obtuvo que para el desecho de serpentina:

$$D_{\text{suelta}}=1,02 \text{ g/cm}^3$$

$$D_{\text{compactada}} = 1,10 \text{ g/cm}^3$$

Estos resultados se muestran a continuación en la tabla 6.

Tabla 6. Resultados de las densidades suelta y compactadas

Materia Prima	$D_{\text{suelta}} \text{ (g/cm}^3\text{)}$	$D_{\text{compactada}} \text{ (g/cm}^3\text{)}$
desecho de arena sílice	1,16	1,28
desecho de serpentina	1,02	1,10

3.2 Resultados de los ensayos con las materias primas en el asfalto

A continuación, se muestran los resultados de los ensayos realizados al asfalto con las materias primas en cuestión.

3.2.1 Resultados para los desechos de arena sílice

La tabla siguiente muestra los resultados de los ensayos realizados al asfalto con la materia prima desechos de arena sílice donde se muestra las normas de referencia, índices de calidad y las observaciones.

Tabla 7. Resultado de los ensayos realizados con desechos de arena sílice.

Ensayos realizados	Resultados	Normas de referencias	Índices de calidad	Observaciones
Penetración (100 g, 25° C, 5 seg) (1/10 mm)	51,80	NC401:2005	50-70	Cumple
Punto de Ablandamiento Anillo y Bola (° C)	50,50	NC516:2007	51-58	No Cumple
Punto de inflamación (° C)	300,00	ASTMD92:2007	Mín.230	Cumple
Punto de Combustión (° C) Copa Cleveland	325,00	-	Mín. 300	Cumple
Peso Específico (g / cm ³)	1,03	NC437:2005	> 1,00	Cumple
Ductilidad en cm.	> 100	NC515:2007	> 100	Cumple
Pérdida por Calentamiento película delgada. (%)	0,46	NC54118:1978	Máx. 0,50	Cumple
Penetración del residuo (%)	67,32	NC401:2005	> 75	No Cumple

Ablandamiento del residuo (° C)	56,00	NC516:2007	-	-
Incremento del punto de ablandamiento (° C)	5,50	-	Máx. 10.	Cumple

3.2.2 Resultados para los desechos de serpentina

La tabla siguiente muestra los resultados de los ensayos realizados al asfalto con la materia prima desechos de serpentina donde se muestran las normas de referencia, índices de calidad y las observaciones.

Tabla 8. Resultado de los ensayos realizados con desechos de serpentina.

Ensayos realizados	Resultados	Normas de referencias	Índices de calidad	Observaciones
Penetración (100 g, 25° C, 5 seg) (1/10 mm)	49,40	NC401:2005	50-70	No Cumple
Punto de Ablandamiento Anillo y Bola (° C)	52,20	NC516:2007	51-58	Cumple
Punto de inflamación (° C)	290,00	ASTMD92:2007	Mín.230	Cumple
Punto de Combustión (° C) Copa Cleveland	315,00	-	Mín. 300	Cumple
Peso Específico (g / cm ³)	2,54	NC437:2005	> 1,0	Cumple
Ductilidad en cm.	> 100	NC515:2007	> 100	Cumple

Pérdida por Calentamiento película delgada. (%)	0,63	NC54118:1978	Máx. 0,50	No Cumple
Penetración del residuo (%)	52,97	NC401:2005	> 75	No Cumple
Ablandamiento del residuo (o C)	64,00	NC516:2007	-	-
Incremento del punto de ablandamiento (o C)	6,90	-	Máx. 10.	Cumple

La planta de hormigón asfáltico de Freyre al realizar el ensayo Marshall a las probetas compuestas por los materiales desechos de serpentina y desechos de arena sílice obtuvo los resultados que se muestran a continuación en la tabla 9. (Oficina Nacional de Normalización NC-261:2005)

Tabla 9. Resultados del Ensayo Marshall para las materias primas

Materia prima	Asfalto (%)	Densidad Real(g/cm³)	Estabilidad (KN)	Deformación (mm)	% vacío
Desechos de arena sílice	4,80	2,28	7,88	2,16	6,90
Desechos de serpentina	5,80	2,31	10,56	2,89	4,20

Como resultado final de la mezcla se obtiene:

$$C \text{ óptimo de asfalto} = \frac{4.8+5.8}{2} = 5,30 \%$$

Tabla 10. Dosificación de la mezcla.

Materiales	%	Rango
Cemento asfáltico	5,30	5,30 – 6,30
Polvo de Piedra(MP)	62,00	
Granito 3/8(10mm)	32,70	

Al obtenerse los resultados de los ensayos a las materias primas (desechos de arena sílice y desechos de serpentina) y haciendo una comparación de las mismas se llega a la conclusión de que ambas materias primas ofrecen buenos resultados como áridos finos asfálticos para ser sustitutos del polvo de piedra. Teniendo en cuenta los resultados de los ensayos de mezcla asfáltica, se propone una mezcla utilizando los desechos de arena residual de fundición puesto que solo incumple con dos de los ensayos realizados a las probetas (Punto de Ablandamiento Anillo y Bola y Penetración del residuo):

Dosificación para los desechos de arena residual de fundición

- **62,00 % residuo de arena de fundición + 32.70 % de granito+ 5.30 % cemento asfáltico**

3.3 Análisis de los resultados

Con el objetivo de lograr validar nuestra propuesta, se ha realizado un análisis de los resultados obtenidos de las pruebas y ensayos realizados durante la investigación, para ello se han tomado tres parámetros fundamentales basados en tres puntos de vista distintos: el medioambiental, económico y técnico.

3.3.1 Análisis medioambiental

Desechos de arena sílice

Luego de analizar la influencia al medio ambiente del uso de residuos de arenas de fundición en la composición de las mezclas asfálticas se concluyó que:

1. Beneficia al medio ambiente al lograr eliminar el suministro continuo de 20 m³ mensuales del residuo al vertedero que a su vez contribuye a la contaminación de los suelos y daños al entorno, así como minimizar los daños al ecosistema.
2. Logra la reducción en cuanto a la explotación de los recursos naturales no renovables en cantera, disminuyéndola en al menos 20 m³ de material al mes.
3. En la valoración realizada en cuanto al índice de contaminación en las plantas de asfalto por emisiones atmosféricas se determinó que ninguno de los componentes químicos del material (SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, TiO₂, CaO, MgO) se considera como agente contaminante, esta conclusión fue tomada a partir de diversas bibliografías consultadas dentro de las que se encuentra la “Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de Fuentes Fijas Y Móviles en el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes”, de la Comisión Nacional del Medio Ambiente de Chile. (Anexo 2)
4. Las sustancias componentes de la arena no se consideran nocivas al medio ambiente ya que son proporciones casi despreciables en la composición de las mezclas asfálticas, además como tal, las carreteras no son fuentes a las que el ser humano se exponga constantemente. A pesar de que se indagó profundamente en el tema no se pudo concretar un índice permisible de estas sustancias en mezclas asfálticas, aunque, si la Administración de Seguridad y

Salud Ocupacional de los Estados Unidos (OSHA, por sus siglas en inglés) tiene normado los límites de exposición de algunas de estas por jornadas laborales en otros campos.

En la investigación se obtuvieron datos muy interesantes que corroboran que los óxidos componentes de nuestro material de estudio en la cantidad que se encuentran no constituyen riesgos para el ser humano, estos datos se exponen a continuación:

Los componentes de la arena que se estudiaron son muy comunes en la actualidad, tanto así que, de los 103 elementos químicos conocidos, 6 de ellos figuran entre los más abundantes, tal y como se observa en la tabla 11.

Tabla 11. Elementos más abundantes en la naturaleza.

Elemento	Porcentaje en peso en la corteza terrestre (%)
Oxigeno	46.46
Silicio	27.61
Aluminio	8.07
Hierro	5.06
Calcio	3.64
Sodio	2.83
Potasio	2.58
Magnesio	2.07
Titanio	0.62
Elementos restantes	0.92

Desechos de serpentina

El problema a resolver en este trabajo tributa directamente a disminuir el impacto ambiental en relación con dos direcciones principales, buscar el acomodo de los desechos serpentiniticos de la industria del níquel, como solución a la problemática de afectación al entorno que estos provocan ya que se vierte una buena parte de estos desechos en áreas de la propia mina, y por otra parte contribuir a disminuir la afectación al curso fluvial del río Cayo Guam, ya que el CITMA ha prohibido la extracción de materiales aluviales de este río desde hace más de 15 años y sin embargo por la enorme necesidad que se tiene actualmente en cuanto al déficit de los áridos se ha autorizado excepcionalmente la extracción de cantidades limitadas para paliar parte de esas necesidades. Lo anterior sin dudas traerá afectaciones sobre todo si no se limita esta extracción, la cual puede ser eliminada con la implementación de nuestra propuesta del empleo de los desechos serpentiniticos como áridos para la fabricación de hormigones asfálticos.

Para tener una mejor apreciación de las afectaciones que estamos previniendo nos referiremos al trabajo de (Villalón, 2004), el cual plantea que a través del mundo en desarrollo la arena y la grava de los ríos es ampliamente explotada como agregado para la construcción. Frecuentemente los agregados son extraídos desde el canal activo del río, así como de las llanuras de inundación y de los depósitos en terrazas adyacentes al río. Dependiendo del contexto geológico, la minería en el canal activo de un río (in-stream) puede crear serios impactos ambientales, particularmente si el río minado tiene un carácter erosivo. Los impactos de tal minería en las tierras de cultivo, la estabilidad del río, el riesgo por inundaciones, la estructura de carreteras y puentes, y la ecología, son típicamente severos. La degradación ambiental puede dificultar el proveer las necesidades básicas (agua, comida, leña, comunicación) de las comunidades localizadas comúnmente en los valles del río.

3.3.2 Análisis técnico para los desechos de arena sílice y desechos de serpentina

Al realizar la comparación entre los materiales citados anteriormente, concluimos que los residuos de arena de fundición y desechos de serpentina se pueden utilizar como sustitutos al polvo de piedra de la cantera del Pílon, esto se debe a que poseen propiedades ventajosas sobre el mismo, entre las que destacan:

1. El polvo de piedra empleado en nuestro país generalmente no cumple la granulometría normada, en cambio estos materiales sí, superando en ocasiones los estándares de calidad, por lo que se considera que puede ser una opción alternativa a esta problemática.
2. A diferencia del polvo de piedra de la cantera del Pílon, cumplen con lo requerido en el ensayo de material más fino que el tamiz 200, lo que contribuye al ahorro del asfalto, aumento la de calidad y disminución de los gastos.
3. Los materiales se manifiestan conforme con respecto al módulo de finura, dándoles ventaja sobre el polvo de piedra, de esta manera se consideran que contribuyan en la disminución del % de vacíos.

3.3.3 Análisis económico para los desechos de serpentina y arena sílice residual de fundición

Además de evaluar la parte técnica y medioambiental, se hace muy necesario en la presente investigación profundizar en la factibilidad económica de la propuesta. Para ello se presenta un análisis basado en la ficha de costo actual de los materiales para mezclas asfálticas de la Empresa Constructora de Obras de Ingeniería (ECOI Nro. 17), el que se expresa a continuación.

Atendiendo al índice de consumo de polvo de piedra, si se dispone 20 m³ de residuos arena de fundición mensual, el material puede participar netamente en la composición de 81.6 ton de mezcla Semidensa o 46.80 ton de mezcla densa de asfalto.

Atendiendo al índice de consumo de polvo de piedra, si se dispone 4 412.56 toneladas de desechos de serpentina mensual, el material puede participar netamente en la composición de 169 ton de mezcla Semidensa o 136 ton de mezcla densa de asfalto.

Tabla 12. Índice de consumo de polvo de piedra.

Tipo de mezcla	Semidensa	Densa
Consumo de polvo de piedra (m ³ /ton)	0.245	0.427

Conclusiones parciales

El análisis de las concepciones metodológicas permitió conocer que además del sector técnico en la investigación juega un importante papel la parte medioambiental y económica como respuesta a las demandas de la política de nuestro país.

Los resultados de los ensayos realizados a los residuos de arena de fundición determinan que puede emplearse como material alternativo en la composición de mezclas asfálticas, específicamente como sustituto al polvo de piedra por su similitud en algunas propiedades con este material.

Los resultados de los ensayos realizados a los desechos de serpentinita determinan que puede emplearse como material alternativo en la composición de mezclas asfálticas, específicamente como sustituto al polvo de piedra por su similitud en algunas propiedades con este material.

CONCLUSIONES

Como resultado de la investigación se tienen las siguientes conclusiones generales:

- Los desechos de arena de fundición de moldeo autofraguante reúnen características y propiedades muy acertadas para ser utilizadas como sustituto al polvo de piedra en mezclas asfálticas.
- Los desechos de serpentina reúnen características y propiedades muy acertadas para ser utilizadas como agregado al polvo de piedra en mezclas asfálticas, aunque no cumpla con algunas regulaciones de acuerdo con las normas cubanas.
- A partir de los ensayos realizados a las materias primas se tuvo en cuenta las especificaciones de diseño, se realizó una propuesta de dosificación (62 % residuo de arena de fundición + 32,70 % de granito + 5,30 % cemento asfáltico) capaz de obtener resultados ventajosos desde los puntos de vista medioambiental, económico y técnico con respecto a una mezcla común.
- Las características y composición de los residuos de arena sílice de fundición determinan que puede estudiarse como material alternativo en la composición de mezclas asfálticas, específicamente como sustituto al polvo de piedra por su similitud en algunas propiedades con este material.

RECOMENDACIONES

- Analizar estas materias primas como alternativa para la estabilización de suelos.
- Evaluar el uso de estos materiales en la confección del asfalto de una planta de hormigón asfáltico en frío en Moa
- Hacer un estudio con los desechos de serpentina de la empresa Pedro Sotto Alba.
- Seguir indagando más en el tema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Amoedo Fernández, Wilfredo (2005). Propuesta de alternativa para el diseño de mezclas de hormigón asfáltico. La Habana
2. ALAVEDRA, P. et al. 1998. La construcción sostenible. El estado de la cuestión. Instituto Juan de Herrera. MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X. [en línea]. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n4/apala.html> [Consulta: 20 abril, 2017].
3. ALMAGUER, C. Y. y GUARDADO La C., R. 2005. Caracterización ingeniero geológica del perfil de meteorización de rocas ultrabásicas serpentinizadas en el territorio de Moa, Cuba. Revista Minería y Geología. 21 (3), ISSN 0258 5979.
4. CASAL C., C. 1986. Las Serpentinitas en la Construcción de Obras Hidráulicas. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Trabajo de Diploma. 80 p.
5. CÉSPEDES R., A. 2007. Caracterización y perspectivas de uso del rechazo serpentinitico de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara como árido para la construcción. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Trabajo de Diploma. 51 p.
6. Claro, (2006). Reciclaje de arenas de fundición.
7. Cuadrado Aranda, (2016). Tesis de Pregrado. Mezclas asfálticas a partir de residuos de neumáticos y escorias siderúrgicas.
8. Instituto Mexicano del Transporte (2004). Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas
9. Iokin, (2008). Análisis de la influencia de residuos metalúrgicos como maridos en las propiedades del Hormigón.
10. Izquierdo Plascencia, (1994). Alternativas para el reciclaje de las arenas de fundición.
11. Mc Graw Hill. (1995). Manual del Ingeniero Mecánico Tomo I y II, Eugene Avallone y Theodore Baumeister III.

12. MONTERO, E. 2007. Caracterización y perspectivas de uso del rechazo serpentinitico de la Empresa Pedro Sotto Alba como árido para la construcción. Instituto Minero Metalúrgico de Moa, Trabajo de Diploma. 56 p.
13. LEON M. M. M. "et al". 2007. Propiedades de las Menas Niquelíferas del Yacimiento Punta Gorda. Interrelación con la cadena productiva y beneficio de las mismas. 2da CONVENCIÓN CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA. 20 al 23 marzo 2007. La Habana, Facultad de Minas – Geología. (MIN2: 018.)
14. LÓPEZ P., L. M. 2006. Caracterización Geológica de las materias primas mineras de los municipios Moa – Sagua de Tánamo para su empleo como material de construcción. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Trabajo de Diploma. 87 p.
15. Oficina Nacional de Normalización NC- 054- 047. Materiales asfálticos. Determinación del punto de inflamación combustible. Método de ensayo.
16. Oficina Nacional de Normalización NC- 054- 048. Materiales asfálticos. Determinación del punto de ablandamiento mediante método anillo y bola. Método de ensayo.
17. Oficina Nacional de Normalización NC-054-023. Materiales asfálticos. Penetración. Método de ensayo.
18. Oficina Nacional de Normalización NC-054-079. Materiales asfálticos. Determinación del peso específico. Método de ensayo.
19. Oficina Nacional de Normalización NC-178:2002. Áridos. Análisis Granulométrico.
20. Oficina Nacional de Normalización NC-181:2002 Áridos. Determinación del peso Volumétrico. Método de ensayo.
21. Oficina Nacional de Normalización NC-182:2002. Determinación del material más fino que el tamiz 0.074mm (No.200). Método de Ensayo.

22. Oficina Nacional de Normalización NC-261:2005. Determinación del contenido óptimo de asfalto empleando el equipo Marshall.
23. Oficina Nacional de Normalización NC-759:2010. Áridos para mezclas asfálticas. Requisitos.
24. Oficina Nacional de Normalización NC-991:2013.Áridos.Términos y Definiciones.
25. MONTERO, E. 2007. Caracterización y perspectivas de uso del rechazo serpentínico de la Empresa Pedro Sotto Alba como árido para la construcción. Instituto Minero Metalúrgico de Moa, Trabajo de Diploma. 56 p.
26. RODRÍGUEZ S., V. E. 1985. Materiales serpentínicos en la construcción de presas de materiales locales Presas Moa. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Moa. Trabajo de Diploma. 61 p.
27. Vásquez Varela, Luis Ricardo (2015): Método Marshall para el Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente. Universidad Nacional de Colombia.

ANEXOS

Anexo 1: Planta de Asfalto de Rafael Freyre.



Anexo 2: Tabla de Emisiones Atmosféricas de la Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de la Comisión Nacional del Medio Ambiente de Chile.

TABLA 2

Factores de emisión para producción de asfalto

Categoría	Contam.	Factor de Emisión (kg/ton material procesado)	Fuente
Planta Bach con Filtro de mangas y petróleo diesel como combustible. (SCC 3-05-002-47)	MP	0,021	AP-42 de la EPA, Hot Mix Asphalt Plants, April 2004.
	MP10	0,013	
	MP2,5	0,004	
	SOX	0,006	
	NOX	0,06	
	VOC	0,004	
	CO	0,2	
	Plomo	4,45 E-7	
	Arsénico	2,3 E-7	
	Benceno	0,00014	
	Tolueno	0,0005	
	CO2	18,5	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.
	Hg	2,05E-7	Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005.
PCDD/PCDF µg de EQT/t de asfalto	0,007	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.	

Categoría	Contam.	Factor de Emisión (kg/ton material procesado)	Fuente
Planta continua con filtro de mangas y petróleo diesel como combustible. (SCC 3-05-002-63)	MP	0,0165	AP-42 de la EPA, Hot Mix Asphalt Plants, April 2004.
	MP10	0,0115	
	MP2,5	0,0034	
	SOX	0,0055	
	NOX	0,0275	
	VOC	0,016	
	CO	0,065	
	Hg	1,2E-7	
	Plomo	0,00027	
	Arsénico	0,65 E-6	
	Benceno	0,000195	
	Tolueno	0,000075	
	CO2	16,5	Directrices del IPCC, 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.
	PCDD/PCDF	0,6E-10	Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005.