



**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO DE MOA**

**“Dr. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ”**

**FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA**

**DEPARTAMENTO DE MINERÍA**

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

**EVALUACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE LA EMPRESA  
COMANDANTE PEDRO SOTTO ALBA PARA SER EMPLEADAS EN LA  
ELABORACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

**Autor: Ignacio Adalberto Lara Negronis**

**Moa/20018**



**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO DE MOA**

**“Dr. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ”**

**FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA**

**DEPARTAMENTO DE MINERÍA**

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

**EVALUACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE LA EMPRESA  
COMANDANTE PEDRO SOTTO ALBA PARA SER EMPLEADAS EN LA  
ELABORACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

**Autor: Ignacio Adalberto Lara Negronis**

**Tutor: MSc. Ismael Terrero Aguirre**

**Dr C Carlos A. Leyva Rodríguez**

**Moa/20018**

## DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo: Ignacio Adalberto Lara Negronis, autor de este trabajo de diploma, que tiene como título: `` **Evaluación de los residuos sólidos que se producen en la mina de la empresa Comandante Pedro Sotto Alba (Moa Nickel S.A) para ser empleadas en la elaboración de mezclas asfálticas**`` y el tutor MSc. Ismael Terrero Aguirre, declaramos la propiedad intelectual de este al servicio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

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

---

Firma del autor

MSc. Ismael Terrero Aguirre

---

Firma del tutor

Dr. C Carlos A. Leyva Rodríguez

---

Firma del tutor

## **DEDICATORIA**

*A: mi madre Noreyda Negronis Delgado, por ser la persona más importante en mi vida, la que me ha dado todo cuanto tengo y soy, por contribuir de forma incondicional y extraordinaria en mi formación como persona y futuro profesional.*

*A: mi familia, en especial a mi padre Ignacio Lara Almaguer y a mi abuela Noris Almaguer Hernández por tan especiales en mi vida y por ayudarme a realizar este logro.*

*A: mis amigos y amigas, por su aliento y ayuda en todo momento.*

## *AGRADECIMIENTO*

- ❖ *Primeramente, agradezco a Dios por darme el aliento y la fuerza para seguir adelante en mi vida y por darme tantas oportunidades cuando más lo he necesitado.*
- ❖ *Agradezco a mi madre Noreyda quien diariamente me impulsa a lograr mis metas con su apoyo incondicional.*
- ❖ *A mi tutor por toda la ayuda prestada y por el tiempo dedicado durante la realización de este trabajo.*
- ❖ *A mi familia por estar conmigo en todo momento en especial a mis hermanos que ha puesto todo su empeño en mí.*
- ❖ *A mis amigos y compañeros de aula durante cinco de los cuales me llevo los mejores recuerdos en especial a Arletty LLevat Madrazo, Annelis Leyva Quiala y Rosa María Landrove N. quienes siempre tendrán un lugar en mi memoria y en mi corazón.*
- ❖ *A nuestro eterno guía y Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz.*
- ❖ *A todas aquellas personas que de una forma u otra contribuyeron a la realización de este trabajo.*

## *PENSAMIENTO*

*Creer en los jóvenes es ver en ellos, además de entusiasmo, capacidad; además de energía, responsabilidad; además de juventud, ¡pureza, heroísmo, carácter, voluntad, amor a la Patria, fe en la Patria! (...), convicción profunda de que sobre los hombros de la juventud se pueden depositar grandes tareas.*

*Fidel Castro Ruz*

## RESUMEN

Las limitaciones existentes en el tratamiento los desechos serpentínicos de la Empresa "Comandante Pedro Sotto Alba" de Moa, constituye un serio problema para las entidades y para el medio ambiente, además del déficit considerable de árido que afronta el municipio; lo que provoca un deterioro considerable de las avenidas y principales vías de acceso terrestre. La presente investigación tiene como objetivo valorar estos residuos para utilizarlos como materiales sustitutos del árido en la elaboración de mezclas asfálticas. Para ello se proponen dos variantes de dosificación, una variante propone el empleo del desecho serpentínico en lugar del polvo de piedra caliza y la otra la sustitución del árido grueso por este material. Mediante el análisis de las características, la aplicación de los ensayos requeridos, el estudio y comparación de estas variantes, se llegó a la conclusión que pueden ser utilizados como sustituto al polvo de piedra, no así para el caso de sustituir al árido grueso. Basado en esto se realiza una propuesta de dosificación para el agregado mineral del desecho serpentínico: 60 % de desecho serpentínico más 34.2 % de fracción de 5 a 9 mm de caliza, más 5.8 % cemento asfáltico. También se analiza la influencia al medio ambiente del uso de los desechos de serpentínicos en la composición de las mezclas asfálticas. En la presente investigación se profundiza la factibilidad económica de la propuesta. Durante el desarrollo del trabajo de diploma se utilizó un sistema de métodos teóricos, empíricos y estadísticos – matemáticos.

## **ABSTRACT**

The existing limitations in the treatment of serpentinitic wastes of the Company "Commandant Pedro Sotto Alba" of Moa, constitutes a serious problem for the entities and for the environment besides the considerable deficit of aggregate facing the municipality, which causes a considerable deterioration of the the main roads and avenues of land access. The objective of this research is to evaluate these residues to be used as substitute materials for the aggregate in the preparation of asphalt mixtures. For this purpose, two dosage variants are proposed, one variant proposes the use of serpentinitic waste instead of limestone dust and the other Substitution of coarse aggregate by this material. Through the analysis of the characteristics, the application of the necessary tests, the study and comparison of these variants, it was concluded that they can be used as a substitute for stone dust, but not for the case of replacing the coarse aggregate there this a proposal of dosage for the mineral aggregate serpentinitico waste is made: 60 % of serpentinitico waste +34.2 % of granite + 5.8 % asphalt cement. The influence on the environment of the use of serpentinitic waste in the composition of the 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.



# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE.....	3
1.1 Clasificación, propiedades físicas y químicas del asfalto.....	7
1.1.1 Referentes teóricos sobre el estudio de los desechos serpentínicos .....	8
1.1.2 Tendencias acerca del uso los desechos serpentínicos como materiales de construcción en el mundo .....	8
1.2.1 Referentes teóricos sobre el estudio de los desechos serpentínicos en cuba...	9
1.2.2 Características generales de los materiales serpentínicos.....	12
1.3 Caracterización del flujo tecnológico de las plantas en estudio .....	13
Conclusiones del capítulo .....	15
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS .....	16
2.1 Métodos de investigación utilizados .....	16
2.2 Selección y preparación de las muestras .....	16
2.2.1 Material a utilizar en la investigación.....	16
2.2.2 Equipamientos para la preparación mecánica de la materia prima.....	16
2.3 Ensayos que se le realizan a la materia prima .....	18
2.3.1 Ensayo granulométrico .....	18
<b>2.3.2 Peso volumétrico</b> .....	20
2.4 Propiedades a considerar en el diseño de mezclas asfálticas .....	21
2.4.1 Estabilidad o resistencia a las deformaciones plásticas .....	22
2.4.2 Durabilidad.....	22
2.4.3 Trabajabilidad.....	23
2.4.4 Flexibilidad.....	23
2.4.5 Resistencia a la fatiga.....	24
2.4.6 Resistencia al deslizamiento .....	24
<b>2.5 Diseño de la mezcla asfáltica</b> .....	24
2.5.1 Estimación del contenido óptimo de asfalto .....	25
2.5.2 Combinación de los áridos para la mezcla.....	25
2.5.3 Preparación de probetas .....	26
2.5.4 Compactación de las probetas .....	27
2.6 Ensayos realizados al hormigon bituminoso .....	27
2.6.1 Determinacion de la estabilidad y la deformación.....	27
2.6.2 Determinación de la densidad aparente de las probetas.....	29

2.6.3 Determinación de los parámetros volumétricos.....	29
2.6.4 Peso específico.....	31
Conclusiones del capítulo: .....	32
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	33
Introducción .....	33
3.1 Ensayos realizados a las materias primas. ....	33
3.1.2 Material más fino que el tamiz 200 .....	33
3.1.3 Análisis del ensayo granulométrico .....	33
3.1.4 Peso Volumétrico.....	34
3.3 Resultados para de las variantes propuestas .....	35
3.4 Análisis medioambiental .....	37
3.5 Análisis técnico.....	37
Conclusiones del capítulo .....	38
CONCLUSIONES GENERALES .....	40
RECOMENDACIONES.....	41
BIBLIOGRAFÍA.....	42
ANEXOS .....	45

## **INTRODUCCIÓN**

El deterioro de los viales, avenidas y vías de comunicación es un problema que afecta de manera directa al desarrollo comunitario, en localidades donde su alto grado genera dificultades que van más allá del acceso a las mismas la erradicación de problemas de esta índole es prioridad.

En el caso del municipio de Moa, territorio que destaca como uno de los de mayor desarrollo industrial del país el estado de sus avenidas y otros viales es desfavorable, eliminar esta situación es una tarea compleja pues el municipio presenta un déficit considerable en cuanto a producción de áridos, los centros productores de estos materiales se encuentran alejados de las fuentes de consumo y entre si por lo que una alternativa es la posibilidad de realizar el plan de obras en particular el correspondiente a los viales mediante el empleo de materiales existentes en la localidad o en sus alrededores.

Moa cuenta con empresas que se especializan en el procesamiento de los recursos minerales del territorio, donde una vez que se obtiene el componente útil se desecha el material restante generando consecuencias medioambientales negativas, utilizar los desechos mineros de la Empresa "Comandante Pedro Sotto Alba", en la fabricación de mezclas asfálticas para mejorar el estado de la estructura vial es una solución acertada además de económica debido a la cercanía de los depósitos ubicados en el propio municipio, disminuye el índice de afectación medioambiental producto del vertimiento de desechos mineros en la superficie terrestre y fomenta el desarrollo comunitario.

### **Problema científico de la investigación a resolver**

Necesidad de evaluar los residuos mineros que se producen en la mina de la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba (Moa Nickel S.A) para ser empleadas como soluciones alternativas, en las mezclas asfálticas en el municipio de Moa.

### **Objeto de estudio**

Residuos sólidos de la mina Pedro Soto Alba para su utilización como hormigón asfáltico.

## **Campo de acción**

Los desechos sólidos de la mina Pedro Sotto Alba.

## **Objetivo general**

Evaluar desde el punto de vista tecnológico los residuos sólidos mineros de la empresa Comandante Pedro Sotto Alba (Moa Nickel S.A) para ser empleados como áridos base en las mezclas asfálticas.

## **Hipótesis**

Si se realizan los ensayos granulométricos, densidad, estabilidad, deformación y vacíos en la mezcla a los desechos sólidos mineros de la empresa Comandante Pedro Sotto Alba entonces es posible determinar sus perspectivas de utilización como áridos en las mezclas asfálticas.

## **Objetivos específicos**

1. Caracterización físico y mecánica de las materias primas a emplear como áridos en las mezclas asfálticas.
2. Realizar los ensayos y valorar los resultados de los mismos.
3. Evaluar el comportamiento de los desechos serpentínicos como agregados asfálticos.
4. Establecer la dosificación óptima de la mezcla para el empleo de los desechos serpentínicos como hormigón asfáltico.

## CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE

Se ofrece información sobre el empleo de los residuos serpentínicos como materiales de construcción en el mundo. Con el objetivo de lograr una mejor comprensión por parte del lector se brinda el esclarecimiento de algunos términos que se emplean en este trabajo relacionado con las materias primas a utilizar, para una mejor comprensión de los aspectos tratados. Los cuales fueron tomados de la Norma Cubana NC 54-395:1987 Materiales de la construcción. Áridos. Términos y definiciones, además de la enciclopedia Wikipedia 2017.

**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 subbases para carreteras, balastos y subalastos para las vías de ferrocarril, escolleras, defensa en la construcción de puertos marítimos.

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 áridos aquellas sustancias minerales utilizadas como materias primas en procesos industriales debido a su composición química, 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.

**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.

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

**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.

**Mezcla asfáltica:** El Hormigón asfáltico, también conocido como hormigón bituminoso, mezcla asfáltica, concreto bituminoso o agregado asfáltico consiste en un agregado de asfalto y materiales minerales (mezcla de varios tamaños de áridos y finos) que se mezclan juntos, se extienden en capas y se compactan, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan. Este es el material más común en los proyectos de construcción para firmes de carreteras, aeropuertos y aparcamientos, debido a sus propiedades se usa en el núcleo de ciertas presas como impermeabilizante.

**Asfalto:** también denominado betún, es un material viscoso, pegajoso y de color plomo (gris oscuro), utiliza mezclado con arena o gravilla para pavimentar caminos y como revestimiento impermeabilizante de muros y tejados. En las mezclas asfálticas es usado como aglomerante para la construcción de carreteras, autovías o autopistas, está presente en el petróleo crudo y compuesto casi por completo de betún o bitumen, constituye la fracción más pesada del petróleo crudo, es posible encontrarlo en grandes depósitos naturales, pero casi todo el que se utiliza hoy es artificial, derivado del petróleo, para pavimentar se emplean asfaltos de destilación, hechos con los hidrocarburos no volátiles que persisten después de refinar el petróleo para obtener gasolina y otros productos.

## Importancia de los agregados asfálticos

También conocidos como roca, material granular o agregado mineral, es cualquier material mineral duro e inerte, en forma de partículas granuladas o fragmentadas, 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. La Norma Cubana NC 282:2004 establece las especificaciones de calidad de los áridos para hormigones hidráulicos y morteros, en el caso del asfáltico aún no existe norma vigente. Las fracciones comerciales se expresan por los números de las aberturas de mallas de 2 tamices normalizados en mm, el mayor indica el límite nominal superior por donde pasa casi todo el árido y el menor donde queda retenido casi todo el árido. La producción de los áridos abarca la explotación del frente de canteras, los sistemas de trituración primaria y secundaria, los sistemas de clasificación y lavado. Las tecnologías de producción deben garantizar la homogeneidad y limpieza de los áridos en el proceso.

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 diseñar diferentes tipologías:

- **Mezcla de hormigón en caliente:** Son producidas por el calentamiento del aglutinante asfáltico, lo que disminuye su viscosidad y permite mezclar el material con el agregado de áridos. La mezcla se realiza a 150 °C para el asfalto puro y a 160 °C si el asfalto está modificado con polímeros. La extensión y el compactado

tienen que realizarse mientras el material está caliente. En muchos países el asfalto se restringe a los meses de calor porque en invierno la base compactada puede estar demasiado fría para realizar la operación. Es el material más empleado en carreteras, autopistas, aeropuertos y pistas de carreras.

- **Performing asphalt pavement (Superpave):** pavimento diseñado para proporcionar tiempos de vida útil más largos que los pavimentos habituales. Las claves son un sistema cuidadoso de selección de ingredientes, una gran calidad de los materiales y del control de obra.
- **Hormigón asfáltico templado:** se produce por la adición de zeolita, ceras o emulsiones asfálticas para realizar la mezcla. Esto permite reducir significativamente la temperatura de mezcla y disminuir el consumo de combustibles fósiles, además de la emisión de dióxido de carbono, aerosoles y vapores. También permite reducir el tiempo de construcción y ciertos aditivos facilitan sus características en la puesta.
- **Hormigón asfáltico frío** se aplican en pequeñas reparaciones con materiales capaces de alcanzar altas resistencias a temperatura ambiente.
- **Hormigón asfáltico cut-back** se produce disolviendo el aglutinante en queroseno u otro líquido que disminuya la fricción de los componentes y permita la mezcla. Se usa para pequeñas reparaciones, cuando no resulta rentable usar maquinaria a gran escala y calentar mezclas.
- **Hormigón asfáltico mástico** o capa asfáltica se produce mediante el calentamiento del material y su oxidación en un mezclador, hasta que se licúa y se puede agregar el árido. El agregado tiene entre 6 y 8 horas de reposo antes de ser aplicado.
- **Hormigón asfáltico natural** puede ser producido de rocas bituminosas, de lugares muy puntuales del mundo, donde la roca sedimentaria ha sido impregnada de betún natural (Cuadrado Aranda, 2016).

Las mezclas asfálticas tienen que cumplir los siguientes criterios para ser utilizables en firmes:

- Resistentes a las cargas del tráfico (tanto a la abrasión, como al asentamiento vertical, como al despegue por los neumáticos),



- Impermeable, ya que si el agua penetra por debajo del firme se filtrará al cimiento de la carretera, desestabilizándolo,
- Debe poderse trabajar con facilidad y su puesta en obra debe ser factible.

### **1.1 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 (Arangurí, 2015).

**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 (Arangurí, 2015).

**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 agregados naturales usados en la construcción de pavimento son la grava y la arena (Arangurí, 2015).

**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 (Arangurí, 2015).

**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 materias primas minerales (Arangurí, 2015).

### **1.1.1 Referentes teóricos sobre el estudio de los desechos serpentiniticos**

La serpentinita es una roca metamórfica compuesta principalmente por serpentina habitualmente la serpentinita se encuentra 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 y para la obtención de hierro acerado a una temperatura de 1535 °C.

**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, constituyen un grupo de minerales que se caracterizan por no presentarse en forma de cristales, excepto en el caso de pseudomorfismo. Son productos de la alteración de ciertos silicatos magnésicos, especialmente olivino, piroxenos y anfíboles y a menudo también se encuentra amianto, talco, garnierita, brucita y clorita, en menor medida, magnesita, dolomita o calcita.

### **1.1.2 Tendencias acerca del uso los desechos serpentiniticos como materiales de construcción en el mundo**

A nivel mundial se han reportado la explotación de minerales serpentiniticos 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.

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.

### **1.2.1 Referentes teóricos sobre el estudio de los desechos serpentiniticos en Cuba**

En 1985, Rodríguez 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 m<sup>3</sup> al año.

En el 2007, Céspedes en su trabajo, “Caracterización y perspectivas de uso del rechazo serpentinitico 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 serpentinitico 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, en el 2007 en su trabajo, “Caracterización y perspectivas de uso del rechazo serpentinitico 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 serpentinitico 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 2007, León 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 y Alien 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.

Terrero (2017) en su investigación tuvo como objetivo la valoración de los desechos serpentínicos de la empresa productora de níquel y cobalto Ernesto Che Guevara, para utilizarlos como materiales alternativos en las mezclas asfálticas donde se llegó a la conclusión que podían ser utilizados como sustituto al polvo de piedra, de ahí que realiza una propuesta de dosificación para el agregado mineral desecho: 62 % residuo de arena de fundición, +32.2 % de granito y +5.8% cemento asfáltico. También 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 y profundiza la factibilidad económica de la propuesta.

### **1.2.2 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 ultrabásicas 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.

### **1.3 Caracterización del flujo tecnológico de las plantas en estudio**

La planta de preparación de pulpa tiene como propósito primordial producir una pulpa acuosa del mineral laterítico a una concentración de 25 % de sólidos y recuperar las partículas de limonita de un tamaño menor de 0,84 mm (< 20 mallas).

Durante el proceso de operación de la planta intervienen diferentes sistemas operacionales que influyen en el buen funcionamiento de la misma y con ello la efectividad en la obtención de la pulpa acuosa del material laterítico.

La planta de pulpa, diseñada con dos unidades iguales e individuales (banda transportadora 1 y banda transportadora 2), capaces de manipular la capacidad total, de la planta. Cada una de las bandas está compuesta por (1 tolva, 1 transportador de estera, 1 transportador de banda, 1 criba), dos (lavadoras, zarandas primarias) y cuatro zarandas secundarias.

El mineral se alimenta a la planta a través de camiones que parten de los frentes de minería que están en explotación. Sin embargo, cuando existen dificultades para transportar el mineral por algún problema ocasionado por las lluvias, se toma mineral de las pilas de almacenamiento situadas y conservadas en la parte trasera de la planta.

El mineral cae por gravedad a una tolva, cuyo tiempo de retención del mineral es de 9,9 minutos, la cual posee 9 martillos para uniformar la capa de mineral y además, posee un juego de cadenas para romper los terrones grandes y amortiguar el

golpe de las rocas que caen.

De las tolvas, el mineral cae a dos bandas transportadoras de rastrillo de velocidad variable, las cuales controlan el tonelaje de mineral alimentado a la planta. Estas bandas transportadoras de rastrillo conducen el mineral a dos transportadores de banda. La velocidad de estos transportadores es constante y tienen una inclinación de 15 grados cada uno. El mineral es conducido a las cribas, aquí por primera vez se añade agua de forma atomizada con el objetivo de romper los terrones de mineral que pasaron a través del embudo y lavar las partículas de minerales que traen las rocas serpentínicas.

La pulpa con partículas menores de 127 mm (5 pulg.) cae por gravedad de las cribas vibratorias a las lavadoras de paletas, las cuales desmenuzan a la vez que lavan el mineral. Los pedazos de mineral de mayor tamaño quedan en las lavadoras, formando una cama y la pulpa de sólidos que salen alrededor de estas, divididas en dos corrientes, cae por gravedad a las zarandas primarias, las cuales son de mallas de 9,58 mm (3,8 pulg.). El rechazo de la criba vibratoria mayor de 127 mm (5 pulg.) es llevado por medio de un transportador vibratorio a un cilindro lavador, el cual desmenuza los terrones, y lava la parte superficial de las rocas duras, las partículas mayores de 127 mm son rechazadas por el cilindro lavador o el molino de quijadas que las tritura para hacerlas similares a las partículas que vienen en el rechazo de las zarandas primarias y secundarias. Las partículas mayores de 9,53 mm de composición serpentínica, son rechazadas por la zaranda primaria y van al transportador de rechazo y las menores de 9,53 mm se dividen en dos corrientes y caen a una zaranda secundaria.

Las zarandas secundarias separan las partículas < 0,84 mm formando una pulpa de 25 % de sólidos que alimentan por gravedad a la planta de espesadores de pulpa a través de una tubería de concreto de 24 pulgada de diámetro.

El rechazo de las zarandas secundarias de carácter serpentínico, se une al de las primeras, así como el producto del cilindro y van a los transportadores de rechazo, para pasar después a la presa de rechazo donde es almacenado.

El rechazo de planta de pulpa perteneciente a la empresa Moa Níquel S.A. del municipio de Moa está conformado teóricamente por la fracción >0.83 mm (malla



20) y están compuestas por fragmentos de serpentina dura, fragmentos de escombros en forma de concreciones ferruginosas, material fino en forma de pulpa, arena y pelotas de mineral limonítico que no es disuelto por el agua a presión y pasa a engrosar el rechazo.

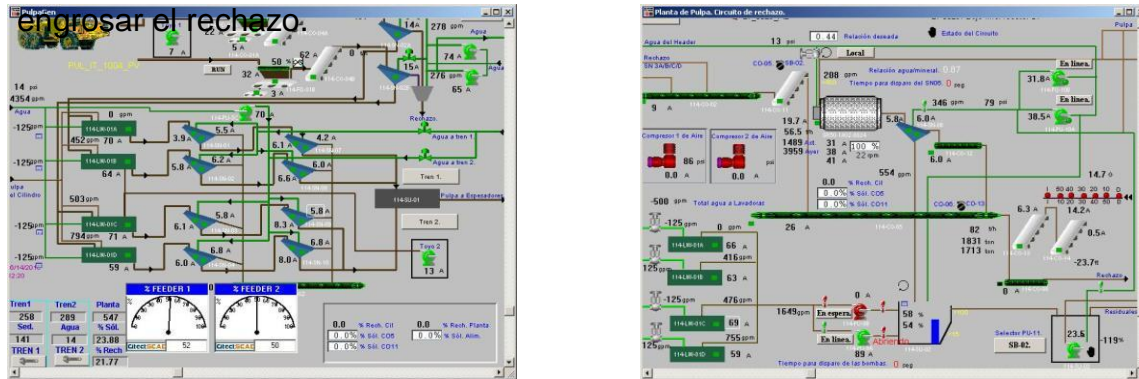


Figura 1.1 Flujo tecnológico de la preparación de planta de pulpa.

### Conclusiones del capítulo

El análisis de las propiedades generales del desecho serpentinitico apunta a que puede ser utilizado en el proceso de mezclado con el asfalto pues se confirma que reúne características para utilizarse en la composición de las mezclas asfálticas.

Se expusieron propiedades químicas y físicas de las materias primas, utilizadas para el desarrollo de mezclas asfálticas.

A partir de la bibliografía consultada se considera insuficiente el conocimiento sobre el estudio de las propiedades físico-mecánico del desecho serpentinitico para su uso en la construcción de pavimentos.

## **CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 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.

**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.

### **2.2 Selección y preparación de las muestras**

#### **2.2.1 Material a utilizar en la investigación**

1. Residuo de serpentinita de la Unidad Empresarial Básica Preparación de Mineral de la Empresa Productora de níquel y cobalto Ernesto Che Guevara de Moa.
2. Agregados pétreos.

#### **2.2.2 Equipamientos para la preparación mecánica de la materia prima**

##### **2.2.2.1 Trituración**

Para someter las muestras a un proceso de reducción de tamaño se llevó la muestra al laboratorio de la carrera de metalurgia, allí 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

trituration en una trituradora de mandíbula TQ (150X75) como se ve en la figura 2.1; 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 2.1 Trituradora de mandíbulas TQ (150x75)**

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.

#### **2.2.2.2 Molienda**

Se utilizó un molino de bolas (figura 2.2), 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.



Figura2.2 Molino de bolas.

## **2.3 Ensayos que se le realizan a la materia prima**

### **2.3.1 Ensayo granulométrico**

Se basa en la determinación de las fracciones granulométricas de los áridos por un medio de movimiento lateral y vertical del tamiz acompañado de una acción de sacudida de manera que la muestra se mueva continuamente sobre la superficie del tamiz, para la realización de ensayo es necesario el auxilio directo en la NC178-2002 elaborada por el Comité Técnico de Normalización (NC/CTN 23 "Áridos"), aprobada por la Oficina Nacional de Normalización la que toma en consideración varios elementos establecidos en la ASTM C 136-96a A "Standard Test Method Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates" y regula el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la granulometría de los áridos gruesos y finos por medio de tamices de aberturas cuadradas (ver anexo 1).

#### **Aparatos y utensilios a emplear**

**Estufa:** Deberá ser capaz de mantener una temperatura constante entre 105 °C - 110 °C.

**Balansa :** Su sensibilidad será de 0,01 g.

**Vibrador mecánico de tamices:** Someta a las partículas a movimientos de caídas, sacudidas y vueltas en la superficie de los tamices.

**Tamices:** Juego de tamices de agujeros cuadrados.

**Brochas:** Cerda de nylon de 2,5cm a 5 cm.

### Preparación de la muestra

Las muestras se obtendrán por el sistema de cuarteado o con la cuarteadora mecánica, de una muestra representativa del material que se ensaya.

Para seleccionar el peso de la muestra, una vez seca, debe escogerse un peso no menor al indicado en la tabla 2.1 (NC 178-2002).

Tabla 2.1 Peso mínimo de la muestra representativa para ensayo, (NC178-2002)

Granulometría	Tamaño nominal máximo de las partículas (mm) (tamiz que pasan)	Peso mínimo de la muestra representativa (kg)
Fina	2,00mm (No.10)	0,1
	4,76mm (No.4)	0,5
Gruesa	9,52mm (3/8 pulg)	1
	12,7mm (1/2 pulg)	2,5
	19,1mm (3/4 pulg)	5
	25,4mm (1 pulg)	10
	38,1mm ( 1 1/2 pulg)	15
	50,8mm ( 2 pulg)	20
	65,5mm ( 2 1/2 pulg)	25
	76,2mm (3 pulg)	30
	88,0mm (3 1/2pulg)	35

En el caso de estar mezclados los áridos finos y gruesos, el material debe ser separado en dos tamaños por el tamiz 4,76 mm (Tabla 2.2).

Tabla 2.2 Peso de la muestra para el ensayo (NC178-2002)

	Fracciones de áridos, Expresado en mm	Peso de la muestra expresado en kg
Fina	4,76- 0,149	500
Gruesa	25-4,76	1000
	38-25	1500
	76-38	000

Antes de comenzar el ensayo, las muestras deben secarse a peso constante a una temperatura de 105°C a 110°C.

Según esta norma el procedimiento para realizar este análisis es el siguiente

### **Procedimiento**

La muestra se separa en una serie de tamaño usando para ello aquellos tamices que sean necesarios de acuerdo con las especificaciones para el uso del material que se ensaya. La operación de tamizado se llevará a cabo por medio de un movimiento lateral y vertical del tamiz, este movimiento estará acompañado de una acción de sacudida, de manera que la muestra se mueva continuamente sobre la superficie del tamiz, en el caso que una de las fracciones se retenga en exceso en un tamiz, de forma tal que impida un tamizado eficiente, se dividirá el retenido de ese tamiz en tantas partes como sea necesario, en ningún caso se emplearán las manos para cambiar de posición o hacer pasar a través del tamiz partículas de áridos, esto es aplicable tanto en el tamizado manual como para el mecanizado. En aquellas porciones retenidas en el tamiz de 4,76 mm, el procedimiento para fijar la determinación del tamizado debe hacerse con una sola capa del material. Cuando se tamice mecánicamente, la eficiencia se comprobará usando el método manual. El peso de las cantidades retenidas en cada tamiz se determinará por la balanza.

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

$$\text{Módulo de finura} = \frac{\sum \% \text{retenidos}}{100} = 3,8 \% \quad (1)$$

En la expresión de los resultados los porcentajes se calcularán sobre la base del peso total de la muestra, incluido el material retenido en el fondo de la serie de tamices y los resultados se expresarán con aproximación al número entero correspondiente.

### **2.3.2 Peso volumétrico**

En este ensayo (ver anexo 2), se utiliza un recipiente donde se conozca la masa y el volumen, además de una pesa. 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. Se calcula la densidad suelta y la densidad compactada con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{P-Tara}{V} \quad (2)$$

Dónde:

D: densidad (suelta o compactada)

P: Peso (suelto o compactado)

Tara: Peso del recipiente

V: Volumen del recipiente

### **2.3.3 Material más fino que el tamiz 200**

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 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.

La fórmula para calcular el porcentaje de material más fino que pasa por el tamiz de 0.074 mm es:

$$\% \text{ de material que pasa por el tamiz No. 200} = \frac{a - b}{a} \times 100 \% \quad (3)$$

Donde:

a: peso de la muestra original seca.

b: peso de la muestra seca después de lavada,

### **2.4 Propiedades a considerar 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, 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 la estabilidad, durabilidad, flexibilidad, resistencia a la fatiga,

resistencia al fracturamiento por bajas temperaturas, resistencia al daño por humedad, resistencia al deslizamiento y trabajabilidad.

#### **2.4.1 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.

#### **2.4.2 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 y desintegración del agregado. Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

La mayor cantidad posible de asfalto aumenta la durabilidad porque las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas. En consecuencia, el asfalto retiene, por más tiempo, sus características originales. Además, el máximo contenido posible de asfalto sella eficazmente un gran porcentaje de vacíos interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración del aire y del agua. Por supuesto, se debe dejar un cierto porcentaje de vacíos en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en los tiempos cálidos.



### **2.4.3 Trabajabilidad**

La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría.

Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar. A través de mezclas de prueba en el laboratorio puede ser posible adicionar agregado fino, y tal vez asfalto, a una mezcla gruesa, para volverla más trabajable. En tal caso se deberá tener cierto cuidado para garantizar que la mezcla modificada cumpla con los otros criterios de diseño, tales como contenido de vacíos y estabilidad.

Un contenido demasiado alto de relleno también puede afectar la trabajabilidad. Puede ocasionar que la mezcla se vuelva muy viscosa, haciendo difícil su compactación. Las mezclas que son fácilmente trabajables o deformables se conocen como mezclas tiernas. Las mezclas tiernas son demasiado inestables para ser colocadas y compactadas apropiadamente. Usualmente son el producto de una falta de relleno mineral, demasiada arena de tamaño mediano, partículas lisas y redondeadas de agregado, y/o demasiada humedad en la mezcla.

### **2.4.4 Flexibilidad**

Flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo).

Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada e bajo contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos.

#### **2.4.5 Resistencia a la fatiga**

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento (el periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga.

Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la subrasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre subrasantes resistentes no se flexionan tanto, bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre subrasantes débiles.

#### **2.4.6 Resistencia al deslizamiento**

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esta mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento (hidroplaneo). La resistencia al deslizamiento se mide en terreno con una rueda normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie del pavimento, y a una velocidad de 65 km/h.

#### **2.5 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. Existen dos métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de asfalto y agregado en una mezcla: método Marshall y el método Hveem.

En el diseño de la mezcla asfáltica se utiliza el Método de Marshall (ver anexo 3) para lo cual es necesario preparar una serie de probetas con una mezcla de áridos de una composición y granulometría determinada y diferentes contenidos de asfalto.

### **2.5.1 Estimación del contenido óptimo de asfalto**

El contenido óptimo de asfalto depende de las características del agregado tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo del asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla mayor será el área superficial total y mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menor área superficial total. Basado en las experiencias acumulada por los ingenieros de Planta No.2 Rafael Freyre perteneciente a la Empresa Constructora de Obras Asfálticas (INGECO) (ver anexo 4), el contenido óptimo de asfalto varía de 5-6% de la masa total del hormigón bituminoso.

### **2.5.2 Combinación de los áridos para la mezcla**

Se procede a determinar la combinación más adecuada que garantice el mejor aprovechamiento de los áridos empleados, para este proceso existen varios métodos de combinación entre los que destacan los siguientes.

#### **Métodos de combinación de materiales**

- Método del Nomograma
- Método de Routhfuchs
- Método del Triángulo
- Deductivo o por tanteo

En este caso se empleó el Método por tanteo, actualmente la planta utiliza el material proveniente de la cantera Cerro Calera Bariay como árido base para la elaboración del hormigón asfáltico en caliente (HAC), se emplea en dos granulometrías; grava 3/8 con fracción de 5-10 mm (60 %) y como agregado fino el polvo de piedra con fracción de 0,075–4,75 mm (40%). En este estudio se incorporó el desecho serpentinitico proveniente de la mina de la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba en dos variantes,

la primera propone la sustitución del polvo de piedra por el desecho serpentinitico y la otra el remplazo de la grava 3/8 respetando la cantidad y granulometría del árido inicial en ambos casos, por lo que se emplea la misma cantidad de este material con iguales características granulométricas que las del material proveniente de la cantera.

### **2.5.3 Preparación de probetas**

Las probetas tendrán un diámetro de  $101.6 \pm 0.25$  mm con una altura de  $65 \pm 3,2$  mm. Se preparan 6 bandejas, como mínimo, por cada porcentaje de asfalto en las cuales se agrega cada fracción de árido necesarios para cada probeta, previamente secado y enfriado para obtener su peso, y se colocan en la estufa a temperatura de  $170\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Se calienta también el asfalto necesario dentro de un recipiente adecuado sobre la plancha de calentamiento, a una temperatura comprendida entre  $145\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ . No se mantendrá el asfalto a esa temperatura más de una hora y no se empleará asfalto recalentado. El asfalto dentro de recipiente se agita frecuentemente para evitar los sobre calentamientos locales.

Se tara el recipiente donde se va a elaborar la mezcla, se le añaden los áridos previamente preparados y calentados a  $170\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Se agita la mezcla de áridos y se forma un cráter en el centro.

Se coloca el recipiente con los áridos en la balanza marcando el peso total (Tara + Peso árido + peso asfalto). Se añade entonces la cantidad necesaria de asfalto, determinándose la cantidad del mismo por diferencia de peso. En este momento la temperatura de los áridos estará comprendida entre  $140\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $155\text{ }^{\circ}\text{C}$  y en todo caso de ser algo inferior, aumentar la del asfalto en un rango de  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Se mezclan vigorosamente los áridos con el asfalto, mecánicamente o a mano, tan rápidamente como sea posible, hasta conseguir una mezcla de composición homogénea. Al terminar la operación de mezclado, la temperatura de la mezcla dispuesta para la compactación no será inferior a  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . En caso de ser más baja se desecha la amasada. Con objeto de obtener resultados más uniformes, y sobre todo en el proyecto de dosificaciones, es conveniente mantener lo más exactamente posible una misma temperatura de la mezcla.

#### **2.5.4 Compactación de las probetas**

Antes de preparar la mezcla, el conjunto del molde y la base de la masa de compactación se limpian y se calientan a una temperatura entre 100 °C y 150 °C, colocándolos en un baño de agua hirviendo. Se sitúa un disco de papel de filtro de 10 cm de diámetro sobre la superficie de la base del molde y se vierte la mezcla recién amasada, a la temperatura correcta, evitando las segregaciones de material y distribuyendo bien la mezcla dentro del molde por medio de una espátula, dando al final una forma redondeada a la superficie. En estas condiciones se le aplica el número de golpes especificados con la masa.

Después de apisonar la primera cara se desmonta el collar, se invierte el molde con la probeta, se vuelve a poner el collar y se aplican los golpes por la otra cara. Se aplican 75 golpes por cada cara en la compactación de mezclas proyectadas para tráficos medio a pesado.

Terminada la compactación se desmonta el collar, la base y se sumerge el molde con la probeta en un cubo con agua a temperatura ambiente, como mínimo, durante 2 minutos. Una vez a temperatura ambiente, se saca la muestra del molde por medio del gato extractor colocando cuidadosamente la probeta sobre una superficie lisa y suave hasta que se ensayen. Se numeran las probetas o se identifican por cualquier otro método. Se dejan enfriar a temperatura ambiente, serán ensayados en tiempo no inferior de 12 horas, recomendándose ensayar a las 24 horas.

### **2.6 Ensayos realizados al hormigón bituminoso**

#### **2.6.1 Determinación de la estabilidad y la deformación**

El valor de estabilidad Marshall es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente, cuando la carga es aplicada lentamente, los cabezales superior e inferior del aparato se acercan y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador del cuadrante; luego se suspende la carga una vez se obtiene la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor es el valor de Estabilidad Marshall (NC-261.2005).

Se sumergen las probetas en un baño de agua a  $60 \pm 5$  °C durante un tiempo entre 20-30 minutos, antes del ensayo. Se limpian perfectamente las superficies interiores de las mordazas de rotura y se engrasan las varillas de guía con una película de aceite de manera que la mordaza superior se deslice libremente.

Se saca entonces la probeta del baño y se seca cuidadosamente su superficie con un paño. Se coloca centrada sobre la mordaza inferior, se monta entonces la mordaza superior, y el conjunto se sitúa centrado en la prensa. El medidor de la deformación se coloca en su posición cero.

Se aplica entonces la carga a la probeta sobre su superficie lateral empleando el equipo Marshall, a una velocidad constante de 50.8 mm/min hasta que se produzca la rotura. El punto de rotura viene definido por la carga máxima obtenida.

La estabilidad Marshall viene dada por la fórmula

$$E=Q*F_c*k \tag{4}$$

Donde:

Q: Lectura del anillo dinamométrico.

F<sub>c</sub>: Factor de corrección por altura.

K: Constante del anillo (kg/mm o kN/mm)

Mientras el ensayo de estabilidad está en progreso, mantener el defórmetro firmemente en la posición sobre la varilla guía y anotar la lectura de deformación en el instante en que se obtenga la carga máxima. La carga máxima se considera tiene lugar en el instante de producirse la primera parada o máximo instantáneo observado en el comparador del anillo dinamométrico.

Todo el proceso de ensayo de estabilidad y deformación que comienza al sacar la probeta del baño de agua debe ser completado en un periodo de 30 segundos. Teniendo en cuenta que la Estabilidad y la Deformación son muy susceptibles a los cambios de temperaturas a que se ensayaron, y al método seguido para elaborar las probetas, debe eliminarse del cálculo del promedio de las tres probetas correspondiente a un mismo contenido de asfalto, aquel valor que se aparte más o menos el 10 % del

valor medio del conjunto, calculándose una nueva media para aquellos casos en que se hayan desechado algunos valores.

### **2.6.2 Determinación de la densidad aparente de las probetas**

La densidad aparente de una probeta asfáltica compactada se determina a partir de la masa de la probeta y de su volumen. El volumen de la probeta se obtiene partir de la relación de su masa en el aire y su masa en el agua. La densidad del agua a 30 °C debe ser 994.3 kg/m<sup>3</sup>.

La densidad aparente de las probetas se puede realizar tan pronto como las probetas recién compactadas se han enfriado a la temperatura ambiente. Es posible determinarla por tres métodos diferentes en este caso se realiza por el método de la muestra impermeabilizada.

Se recubre toda la superficie de la muestra con una capa del material impermeabilizante, de espesor suficiente para asegurar el cierre de todos los huecos superficiales (se emplea parafina a una temperatura de 58 °C). La muestra recubierta se deja enfriar al aire durante unos 30 minutos y se determina su masa, se designa este valor por D. Posteriormente se determina la masa de la muestra impermeabilizada en el agua, sumergiéndola dentro del cestillo que para este fin lleva la balanza y se designa este valor por E. La densidad de la parafina es de 1,12 g/cm<sup>3</sup> se designa este valor por F. La densidad se calcula por medio de la siguiente expresión

$$D_a = \frac{A}{\left(\frac{D-E}{\delta}\right) - \left(\frac{D-A}{F}\right)} \quad (5)$$

### **2.6.3 Determinación de los parámetros volumétricos**

Para todos los cálculos donde se requiera determinar el volumen ocupado por los áridos, se utilizará su peso específico corriente.

Con el objeto de facilitar los cálculos del porcentaje de huecos, se determina el valor del peso específico de los áridos combinados (PEcomb) con el uso de la expresión teórica siguiente.

$$PE_{comb} = \frac{100}{\left(\frac{P_1}{PEC_1}\right) + \left(\frac{P_2}{PEC_2}\right) + \left(\frac{P_3}{PEC_3}\right) + \dots + \left(\frac{P_n}{PEC_n}\right)} \quad (6)$$

Donde:

$P_1, P_2, P_3$ : Porcentaje de los áridos 1,2,3...con relación al peso total de áridos (%).

$PEC_1, PEC_2, PEC_3, PEC_n$ : Peso específico corriente de los áridos 1, 2, 3..., n (g/cm<sup>3</sup>).

De no contarse con los valores del peso específico efectivo, se puede asumir la absorción de asfalto como el 50% de la absorción al agua en los áridos calizos y del 30% para los áridos de origen ígneos (serpentinita).

El porciento de agua absorbida por la muestra seca, se calcula aplicando la fórmula:

$$\% absorción = \frac{B - A}{A} \times 100 \quad (7)$$

Donde:

A: Peso de la muestra secada en la estufa, (g).

B: Peso de la muestra saturada con superficie seca.

**Proporción de asfalto absorbido (Pba), en %**

$$P_{ba} = \frac{A_b \times P_a}{100} \quad (8)$$

**Proporción de asfalto efectivo (Pbe), en %**

$$P_{be} = P_b - P_{ba} \quad (9)$$

**Densidad Máxima teórica de las muestras compactadas (DMT)**

$$DMT = \frac{100}{\frac{P_a}{PE_{comb}} + \frac{P_b}{PE_b} - \left(\frac{A_b \times P_a}{100 \times PE_b}\right)} \quad (10)$$

Donde:

$P_a$ : Porcentaje de áridos referidos al peso de la mezcla, (%).



$P_b$ : Porcentaje de asfalto total referido al peso de la mezcla, (%).

$PE_b$ : Peso específico del asfalto, en  $g/cm^3$ .

#### **Porcentaje de huecos en los áridos compactados ( $HA$ ), (%)**

$$HA = 100 - \frac{P_a \times D_a}{PE_{comb}} \quad (11)$$

#### **Porcentaje de huecos en la mezcla compactada ( $HM$ ), (%)**

$$HM = 100 - \frac{100 \times D_a}{PE} \quad (12)$$

### **2.6.4 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.

### **Conclusiones del capítulo**

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.

Los métodos y técnicas experimentales utilizadas para el análisis están fundamentadas a partir de la necesidad de la descripción y caracterización del desecho serpentínico para su utilización como hormigón asfáltico.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Introducción

En el presente capítulo se exponen los resultados de los ensayos realizados a las materias primas y al asfalto, luego de tabulados o graficados estos fueron sometidos a su análisis y discusión, apoyándose para ello en una amplia búsqueda bibliográfica, 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 serpentínicos se desea utilizarlos como agregados pétreos para comprobar la aptitud del material se le han realizado los ensayos correspondientes, los que se exponen a continuación junto a sus resultados.

### 3.1 Ensayos realizados a las materias primas.

#### 3.1.1 Material más fino que el tamiz 200

- La fórmula para calcular el porcentaje de material más fino que pasa por el tamiz de 0.074 mm es:

$$\% \text{ de material que pasa por el tamiz No. 200} = \frac{a - b}{a} \times 100 \% \quad (3)$$

Donde:

a: peso de la muestra original seca.

b: peso de la muestra seca después de lavada.

Al aplicarse esta fórmula se obtuvo un 7 % de material pasa por el tamiz No.200

#### 3.1.2 Análisis del ensayo granulométrico

Primeramente, se tomó una muestra de desechos de serpentina de 2000 g, luego se procede a tamizar la muestra seleccionando 6 tamices desde el de 4.76 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 porcentaje acumulado y al porcentaje que pasa, en la tabla 3.1 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 3.1 Resultados de la muestra de desechos de serpentinita

Tamiz (mm)	Masa retenido (g)	Retenido (%)		Acumulado (%)
		Parcial	Acumulado	
2,38	232,7	11,635	11,635	88,365
0,63	547,9	27,395	39,03	60,97
0,315	430,7	21,535	60,565	39,435
0,149	327,8	16,39	76,955	23,045
0,074	230,6	11,53	88,485	11,515
Fondo	230,3	11,515	100	0

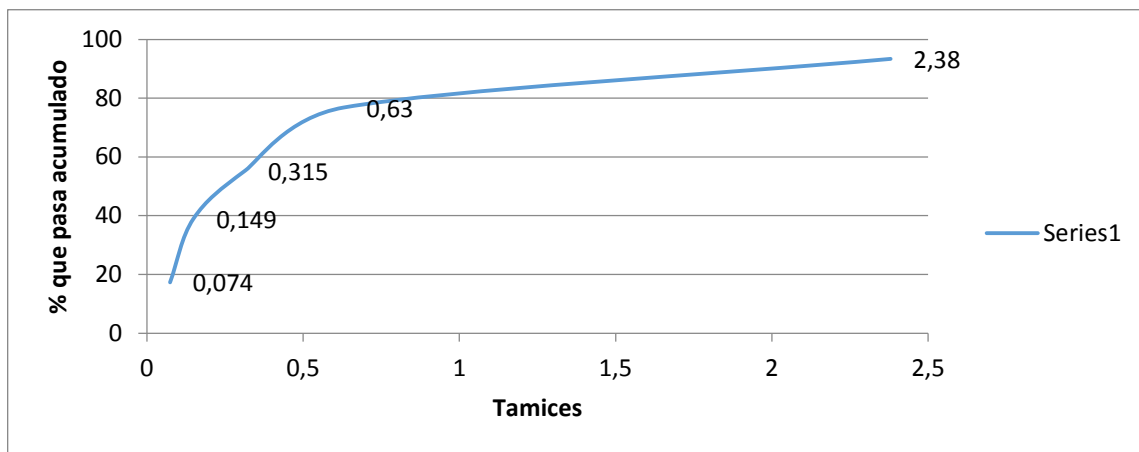


Figura 3.1 Curva granulométrica de los desechos serpentínicos

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

$$\text{Módulo de finura} = \frac{\sum \% \text{ retenidos}}{100} = 3,8 \% \quad (1)$$

Las comparaciones del resultado de este ensayo con la NC 253: 2005 concluyen en el que material no cumple con la granulometría para filler, debido a que el % que pasa el tamiz 0.074 (200) es muy pequeño, sin embargo, pudiera aplicarse si se somete a un proceso de trituración. Por otra parte, si cumple para árido fino al igual que para la norma referente al polvo de piedra

### 3.1.3 Peso Volumétrico

Para la realización de este ensayo se utilizó un recipiente de masa 1194 g con un volumen de 2720 cm<sup>3</sup>, 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 1580,4 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 4458 g.

Partiendo de los pesos determinados se calculó tanto la densidad suelta como la compactada a través de una fórmula muy simple expuesta a continuación

$$D = \frac{P-Tara}{V} \quad (2)$$

Donde:

D: densidad (suelta o compactada)

P: Peso (suelto o compactado)

Tara: Peso del recipiente

V: Volumen del recipiente

Se obtuvo:

$$D_{\text{suelta}} = 1.02 \text{ g/cm}^3$$

$$D_{\text{compactada}} = 1.12 \text{ g/cm}^3$$

### 3.2 Resultados para de las variantes propuestas

La tabla 3.2 muestra los resultados de los ensayos realizados al asfalto con desechos serpentiniticos como agregado pétreo en ambas variantes

Tabla 3.2 Resultados de los ensayos realizados a los residuos.

Variantes propuestas	Asfalto (%)	Densidad Real (g/cm <sup>3</sup> )	Estabilidad(KN)	Deformación(mm)	% vacío
Variante 1	6	2.22	7.51	2.04	6.3
Variante 2	5,4	2.57	11.43	3.16	4.8

La tabla 3.3 expone las especificaciones vigentes propuestas en las normas comparativas (NC 253-2005 y NC 261-2005) para los diferentes ensayos realizados

Tabla 3.3 Normas comparativas

Mezcla densa				
% de asfalto	Estabilidad	Deformación	Vacío en la mezcla	Densidad
5-6	9,25-11	2-3	4-6	2,30-2,32

Al comparar los resultados obtenidos para cada variante con las normas Cubanas vemos que la primera variante cumple con la norma en todos los aspectos excepto en el caso del parámetro relacionado con el porcentaje de vacíos pues el resultado excede en 0,3 % a lo estipulado en la Norma, un valor pequeño que puede no afectar de manera considerable la mezcla pero que es necesario señalar y la segunda variante si bien no cumple con lo establecido en la norma los valores se acercan de manera considerable, lo cual demuestra que pueden ser utilizadas ambas variantes tomando prioritariamente la Variante No.1 que es la que ofrece mejores resultados. En la tabla 3.4 se muestra la dosificación de la mezcla.

Tabla 3.4 Dosificación de la mezcla

<b>Materiales</b>	<b>%</b>
Cemento asfáltico	5.8
Desecho Serpentinico	60
Granito 3/8(10mm)	34.2

Teniendo en cuenta los resultados de esta mezcla asfáltica, así como los ensayos al desecho de serpentinita, se propone como dosificación más acertada la Variante No.1 (5,8 % de cemento asfáltico, + 60 % de desecho serpentinitico, + 34.2 % de granito).

### **3.3 Análisis medioambiental**

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. Sin embargo, por la enorme necesidad que se tiene actualmente en cuanto al déficit de los áridos en el municipio se ha autorizado excepcionalmente la extracción de cantidades limitadas para atenuar 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 mezclas asfálticas.

Para tener una mejor apreciación de las afectaciones que estamos valorando 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.

### **3.4 Análisis técnico**

Con los resultados del ensayo Marshall, se puede realizar un análisis para verificar la calidad técnica que presenta el desecho serpentinitico para sustituir al polvo de piedra en el diseño de mezclas asfálticas en caliente. Para lograr este análisis se comparan los

resultados de los ensayos correspondientes practicados al material y se evalúa su conformidad de acuerdo a lo planteado por la NC-759:2010: “Áridos para mezclas asfálticas. Requisitos”. Al realizar la comparación, concluimos en que el desecho serpentinitico, se pueden utilizar como sustituto del polvo de piedra (Variante No.1), esto se debe a que posee 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 este material sí, superando en ocasiones los estándares de calidad, por lo que se considera que pueden ser una opción alternativa a esta problemática.
2. A diferencia del polvo de piedra, cumple con lo requerido en el ensayo de material más fino que el tamiz 200, lo que contribuye al ahorro del asfalto, aumento de la calidad y disminución de los gastos.
3. Presenta similitud al polvo de piedra en cuanto al % de huecos (aunque logra minimizarlo en un pequeño %)
4. El material se manifiesta conforme además con respecto al módulo de finura, dándole ventaja sobre el polvo de piedra, de esta manera se considera que contribuye en la disminución del % de vacíos.

### **Conclusiones del capítulo**

El análisis de las concepciones metodológicas permitió conocer que además del sector técnico, la investigación debería ser enfocada a la parte medioambiental y económica como respuesta a las demandas de la política de nuestro país.

Las características y composición del desecho serpentinitico determinan que puede emplearse como material alternativo en la composición de mezclas asfálticas, específicamente como sustituto del polvo de piedra por su similitud a las propiedades de este material.

Al realizarse los ensayos correspondientes a los materiales y compararlos con el polvo de piedra y el árido grueso (grava 3/8) teniendo en cuenta las especificaciones de diseño, se realizaron propuestas de dosificaciones obteniendo resultados que



determinan la posibilidad de ser utilizado como material alternativo en la composición de mezclas asfálticas específicamente como sustituto del árido fino.

## CONCLUSIONES GENERALES

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

- Los desechos serpentínicos reúnen características y propiedades acertadas para ser utilizadas como sustituto al polvo de piedra en mezclas asfálticas, por su similitud con las propiedades de este material, no así para el caso de sustitutos del árido grueso.
- A partir de los ensayos realizados a la materia prima se tuvo en cuenta las especificaciones de diseño. Se realizó una propuesta de dosificación (60 % de desecho serpentínico, +34.2 % de fracción de 5 a 9 mm y 5.8 % cemento asfáltico) capaz de obtener resultados ventajosos desde los puntos de vista medioambiental, económico y técnico con respecto a una mezcla común.
- En el rango de composiciones, granulometrías y demás condiciones experimentales utilizadas en este estudio los resultados obtenidos indican que la composición 60 % del desecho serpentínico resulta la más adecuada.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la dosificación propuesta y realizar un análisis económico teniendo en cuenta los resultados de los ensayos.
- Analizar este material como alternativa para la estabilización de suelos.
- Evaluar el uso de este material en la confección de hormigones hidráulicos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ALFARO SIRONVILLE, MARCO ANTONIO. Introducción al muestreo minero. Santiago, Chile. 2002. Editora Instituto de Ingenieros de Minas de Chile. 83p.
2. ALVARES DIAS, R. Modelo de innovación Tecnológica para la explotación de los Recursos Minerales Territoriales y su contribución al desarrollo local sostenible. 2008. Ponencia
3. ANDREIEV, S. E. et al. 1980. Trituración, desmenuzamiento y cribado de minerales. Editorial MIR. 536 p.
4. ARANGURÍ. Estudio de la preparación mecánica de los minerales serpentiniticos en trituradoras de mandíbulas para la utilización de sus productos en la industria de los materiales de la construcción. (Colectivo de tutores). Tesis de pregrado. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2005.
5. BANDERAS, D., NARANJO., V., RODRÍGUEZ., J. & J. ROJAS. 1997. Informe Prospección Preliminar y Detallada vidrio volcánico "Sagua de Tánamo". Prov. Holguín.
6. BATISTA, R. 2007. Valoración del Potencial de Los Recursos Minerales para la Industria del Cemento en Cuba. Tesis de Maestría. Inédito. IGP.
7. BEATRIZ PONCE, MARIA.2007.Versatilidad en el uso de la piedra toba. [16.02.2009] <http://www.minas.upm.es/relext/Red-Cyted-XIII/webrimin/rimin1/III-Jornadas-San-Juan/BeatrizPonceMaria.pdf>.
8. BOUSO ARAGAONES, JUAN LUIS. Soluciones Medioambientales para las plantas de tratamiento de áridos vía húmeda. II Jornadas Iberoamérica de materiales de construcción. 2002. Habana. [16.02.2009] [http://www.minas.upm.es/catedra-anefta/Bouso-M3/Sol\\_Medamb\\_Aridos\\_Via\\_Humeda.pdf](http://www.minas.upm.es/catedra-anefta/Bouso-M3/Sol_Medamb_Aridos_Via_Humeda.pdf).
9. CHARLES, L. 1987: Crushing and Grinding Process Handbook. Londres.
10. COELLO V. A y N. TIJONOV O. 2001: Molienda de minerales multicomponentes: modelo íntegro-diferencial para la valoración de la energía, en la Revista Minería- Geología V: XVII, No. 3 y 4. 49-53 pp.

11. Colectivo de autores. Estado del arte “en las producciones de áridos en Cuba y propuesta del método para implementar sistemas de calidades en estos procesos. [16.02.2009]. [http://www.minas.upm.es/relext/Red-Cyted-XIII/web-rimin/rimin1/jornadas/01\\_iber\\_mac\\_pdf/08\\_Calidad/Sosa.pdf](http://www.minas.upm.es/relext/Red-Cyted-XIII/web-rimin/rimin1/jornadas/01_iber_mac_pdf/08_Calidad/Sosa.pdf)
12. Colectivo de autores: Ophiolite-Related Ultramafic Rocks (Serpentinites) in the Caribbean Region: A Review of their Occurrence, Composition, Origin, Emplacement and Ni-laterite Soil Formation. *Geologica Acta*, Vol.4 N°1-2, 2006, 237-263p.
13. Colectivos de autores. 1997. Recommended nomenclature for Zeolite minerals: Report of the subcommittee on Zeolites of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names. *Canadian Mineralogist*. Vol. 35. 1571-1606p.
14. MARTÍNEZ, J., PÉREZ, N., PONCE, N.G., BATISTA, R., et al., 1994. Pronóstico de Materias Primas No- Tradicionales de la República de Cuba. IGP. La Habana. Inédito.
15. MUSSO, ROBELKI WILSON. 2008. Caracterización de la Serpentinita del Municipio de Holguín. Colectivo de tutores. Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moa. 51P
16. NC 178: 2002 Áridos. Análisis granulométrico.
17. NC 181: 2002 Áridos. Determinación del peso volumétrico. Método de ensayo.
18. NC 182: 2002 Áridos. Determinación del material más fino que el tamiz de 0.074 mm (no. 200). Método de ensayo.
19. NC 185: 2002 Arena. Determinación de impurezas orgánicas. Método de ensayo.
20. NC 186: 2002 Arena. Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo.
21. NC 186: 2002 Árido grueso. Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo.
22. NC 189: 2002 Áridos gruesos. Determinación de partículas planas y alargadas. Método de ensayo.
23. NC 251: 2005 Áridos para hormigones hidráulicos requisito
24. 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.

25. LEYVA RODRIGUEZ, CARLOS. Oct. 2007. Solución al déficit de áridos en el municipio de Moa empleando los desechos serpentínicos de la Empresa Comandante Ernesto Guevara. Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moa. Ponencia ONRM. 1999. Clasificación de los Recursos y Reservas de Minerales Útiles Sólidos. La Habana.

26. PEÑA, LUIS LEDESMA. Año 2008. Influencia del beneficio en la productividad del proceso de molienda de la laterita en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Colectivo de tutores. Trabajo de diploma. 66P.

## ANEXOS

### Anexo 1: Ensayo Granulométrico



### Anexo 2: Ensayo para determinar Peso volumétrico



**Anexo 3: Equipo de Marshall**



**Anexo 4: Planta de Asfalto de Rafael Freyre.**

