



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA

Dr. "ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"

FACULTAD METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA

DEPARTAMENTO DE METALURGIA- QUÍMICA

Trabajo de Diploma

Evaluación de tobas vítreas y desechos de coral para sus empleos como áridos finos asfálticos en Moa

EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO EN METALURGIA Y MATERIALES

AUTOR: Amable I. Naranjo Ferrás **Firma:** _____

TUTOR: Dr. Carlos A. Leyva Rodríguez **Firma:** _____

TUTOR: 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 Diplomante

Amable I. Naranjo Ferrás

Firma de Tutores

Dr. Carlos A. Leyva
Rodríguez

Ing. Ismael Terrero Aguirre

PENSAMIENTO



*“La inteligencia consiste
no sólo en el
conocimiento, sino
también en la destreza de
aplicar los conocimientos
en la práctica.”*

DEDICATORIA

A: MI MADRE ELDA, POR SER LA ESTRELLA QUE GUÍA E ILUMINA MI CAMINO, POR CONTRIBUIR DE FORMA INCONDICIONAL EN MI FORMACIÓN COMO PERSONA Y FUTURO PROFESIONAL, Y POR HACERME SENTIR TAN ORGULLOSO DE ELLA.

A: MI FAMILIA, POR SABER LO QUE SIGNIFICA PARA ELLOS ESTE LOGRO.

A: MIS AMIGOS Y AMIGAS, POR SU ALIENTO E INSPIRACIÓN EN TODO MOMENTO.

AGRADECIMIENTOS

AGRADEZCO SINCERAMENTE Y DE TODO CORAZÓN:

A: MI MADRE ELDA, POR HACER DE MI QUIEN SOY, POR SU APOYO INCONDICIONAL Y AYUDARME A LOGRAR ESTE MOMENTO QUE ES ÚNICO Y ESPECIAL.

A: MI FAMILIA PORQUE SIEMPRE CONFIARON EN QUE YO SÍ PODÍA, PRINCIPALMENTE A MI TÍO DANIEL, MI PRIMO DANNIER Y MI HERMANA CARMEN.

A: MI TUTOR DR. CARLOS ALBERTO LEYVA RODRÍGUEZ POR HABER SIDO LA FUENTE DE DONDE SURGIÓ ESTE TRABAJO, POR SU PACIENCIA, POR EL TIEMPO DEDICADO Y POR LA CONFIANZA QUE HA DEPOSITADO EN MÍ PARA LA REALIZACIÓN DEL MISMO.

A: MI OTRO TUTOR ING. ISMAEL TERRERO AGUIRRE PORQUE SIEMPRE ME DIO EL APOYO QUE NECESITÉ, SU AYUDA Y CONFIANZA EN MÍ FUERON LAS QUE HICIERON POSIBLE REALIZAR MI SUEÑO.

A: MIS COMPAÑEROS DE CUARTO O MEJOR DICHO A MIS HERMANOS DAYRON, ALE Y RAMÓN QUE SIEMPRE ESTUVIERON A MI LADO EN LOS MOMENTOS MALOS Y BUENOS, POR SUS CONSEJOS, PORQUE NUNCA ME ABANDONARON NI ME DIERON DE LADO CUANDO MÁS LO NECESITÉ.

A: MI NOVIA QUE HA SIDO CAPAZ DE SOPORTARME Y DARME EL AMOR Y LA COMPRENSIÓN QUE NECESITÉ EN LOS MOMENTOS QUE DE VERDAD ME HACÍA FALTA.

A: MIS COMPAÑEROS DE AULA.

A: MIS AMIGAS AYLEN, YUMAIBY, YUNAIMY, ANABEL, KATIA, WENDY Y MAIRELIS POR SU PACIENCIA Y SU AYUDA DESINTERESADA, POR SU TERNURA Y AMOR QUE ME BRINDARON A LO LARGO DE ESTE TIEMPO EN LA UNIVERSIDAD.

A: MIS PROFESORES CARLOS IZAGUIRRE BONILLA Y ORLEIDYS LOYOLA BREFFE Y NO POR SER LOS ÚLTIMOS LES QUITO SU MÉRITO E IMPORTANCIA, PORQUE GRACIAS A ELLOS LOGRÉ MI PROYECTO, PORQUE ELLOS FUERON LOS QUE UNIFICARON EL ESLABÓN ROTO DE UNA CADENA MUY LARGA, SIN SU COMPRENSIÓN NADA HUBIESE SIDO POSIBLE.

A: A NUESTRO ETERNO GUÍA Y COMANDANTE EN JEFE FIDEL CASTRO RUZ.

A: TODOS LOS QUE MEDIANTE DE UNA FORMA U OTRA ME AYUDARON EN ALGÚN MOMENTO DETERMINADO.

A TODOS MUCHAS GRACIAS.

RESUMEN

Las limitaciones existentes en el tratamiento a las tobas vítreas del yacimiento de Sagua de Tánamo y los desechos de coral de la Empresa "Comandante Pedro Sotto Alba" de Moa, 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 coral: 62 % de desecho de coral +32,2 % de granito + 5,8 % cemento asfáltico. También se analiza la influencia al medio ambiente del uso de residuos de las tobas vítreas y la influencia de los desechos de coral 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.

SUMMARY

The existing limitations on the treatment of glassy tuff from the Sagua de Tánamo reservoir and the coral waste from the company "Commandant Pedro Sotto Alba" from Moa, 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 coral scrap: 62 % coral scrap + 32,2 % granite + 5,8 % asphalt cement. The influence on the environment of the use of residues of vitreous tuffs and the influence of coral 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.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	5
Introducción	5
1.1 Clasificación, propiedades físicas y químicas del asfalto	7
1.2 Características generales de las materias primas minerales tobas vítreas	8
1.2.1 Tendencias acerca del uso de las tobas vítreas en Cuba	9
1.2.3 Estado que presentan las tobas vítreas como materiales alternativos en Cuba.....	9
1.2.4 Utilización de las tobas vítreas	10
1.3 Composición mineralógica de las tobas vítreas	12
1.4 Localización	12
1.5 Características geológicas	13
1.6 Investigaciones realizadas acerca del estudio de las tobas vítreas	14
1.7 Tendencias acerca del uso los desechos de coral en Cuba.	18
1.7.1 Características del material.	18
1.7.2 Investigaciones realizadas acerca de la materia prima desecho de coral.....	19
1.7.3 Descripción del flujo tecnológico de la planta de coral.	22
Conclusiones del capítulo.	23
Capítulo 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
Introducción.....	25
2.1 Métodos utilizados en la investigación.....	25
2.2 Selección y preparación de las muestras	26
2.2.1 Materiales a utilizar en la investigación	26

2.2.2 Equipamientos para la preparación mecánica de la materia prima. ..	26
2.2.3 Trituración.....	26
2.2.4 Molienda	27
2.3 Ensayos que se le realizan a la materia prima	28
2.4 Diseño de la mezcla asfáltica	29
2.5 Propiedades consideradas en el diseño de mezclas asfálticas	30
2.6 Ensayos realizados al asfalto	33
2.6.1 Penetración.	33
2.6.2 Punto de ablandamiento.....	33
2.6.3 Ductilidad.....	34
2.6.4 Pérdida por calentamiento de la película delgada.	34
2.6.5 Punto de inflamación.	35
2.6.6 Solubilidad	35
2.6.7 Peso específico	35
Conclusiones del capítulo	36
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	37
Introducción	37
3.1 Ensayos realizados a las materias primas.....	37
3.2 Resultados para los desechos de tobas vítreas	41
3.3 Resultados para los desechos de coral	43
3.4 Análisis de los resultados	45
3.5 Impacto medioambiental de las tobas vítreas.	45
3.6 Impacto medio ambiental del Cieno Carbonatado.	47
3.7 Análisis técnico para las tobas vítreas y el desecho de coral respectivamente.	48

3.7.1 Análisis económico para las tobas vítreas y el desecho de coral respectivamente.	49
Conclusiones del capítulo	50
CONCLUSIONES GENERALES:.....	51
RECOMENDACIONES	52
BIBLIOGRAFÍA	53
ANEXOS	59

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 bastante alejados de las fuentes de consumo y entre sí, lo que hace más compleja la satisfacción de la demanda.

Este municipio es uno de los de mayor desarrollo industrial del país. 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 el municipio de Rafael Freyre. La primera 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 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 pétreo 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.

Problema científico a resolver:

- Insuficiente conocimiento de las tobas vítreas y el desecho de coral para ser empleadas como soluciones alternativas, en las mezclas asfálticas en el municipio de Moa.

Objeto de investigación:

- Tobas vítreas del yacimiento de Sagua de Tánamo y desecho de coral de la Empresa Pedro Sotto Alba, para ser empleadas como áridos finos en las mezclas asfálticas para el municipio de Moa.

Campo de acción:

- Comportamiento de las tobas vítreas del yacimiento de Sagua de Tánamo y el desecho de coral de la Empresa Pedro Sotto Alba como agregados asfálticos.

Resultados esperados:

- Caracterización de las materias primas investigadas.
- Comportamiento de estas materias primas como agregados asfálticos.

Hipótesis:

- Al realizar la valoración técnica del desecho de coral de la Empresa Pedro Sotto Alba y de las tobas vítreas del yacimiento de Sagua de Tánamo para su empleo como árido fino asfáltico para la reconstrucción de viales en el municipio de Moa, se logrará conocer el comportamiento de las mismas para su uso como árido fino asfáltico logrando un aporte económico, social y ambiental de gran impacto en este programa.

Objetivo:

- Realizar una valoración técnica del desecho de coral de la Empresa Pedro Sotto Alba y de las tobas vítreas del yacimiento de Sagua de Tánamo, que permitan ser recomendadas para su empleo como árido fino asfáltico, con vista a potenciar el mejoramiento de los viales en el municipio de Moa.

Objetivos específicos:

- Caracterizar las tobas vítreas y el desecho de coral, química y mineralógicamente.
- Determinar el comportamiento de las tobas vítreas y el desecho de coral como agregados asfálticos.

Tareas de la investigación:

- Búsqueda y revisión de la literatura publicada relacionada con los materiales asfálticos.
- Selección y preparación de la muestra.
 - Material más fino que el tamiz No 200
 - Ensayo Granulométrico
 - Peso Volumétrico
- Análisis de las perspectivas de la utilización de las tobas vítreas y desechos de coral como fuente de árido fino en mezclas asfálticas.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Introducción

En el presente capítulo se exponen los principales problemas tanto en el mundo como en Cuba y en el área de estudio que es el municipio de Moa acerca de las tobas vítreas del yacimiento de Sagua de Tánamo y el carbonato de calcio de la Planta de coral de la Empresa Pedro Sotto Alba. También se aborda de la necesidad de utilizar estas materias primas como sustituto en la creación de un hormigón asfáltico.

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 Norma Cubana NC 54-395:1987 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.

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.

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 (85 % - 90 %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: 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 de este. Se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan.

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.

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)

1.2 Características generales de las materias primas minerales tobas vítreas

El material tobáceo del yacimiento Sagua de Tánamo se caracteriza por ser vitroclástico y vitrocrystaloclastico, son de color blanco grisáceo, de granulometría fina a media, generalmente abrasivas al tacto, porosa, ácidas con alto contenido de SiO_2 (60,84 %), conteniendo vidrio volcánico superior a 50 %. (Informe Prospección Preliminar y Detallada vidrio volcánico Sagua de Tánamo. Prov. Holguín, 1997). Estas tobas se constituyen de vidrio en forma de espuma y se forman durante un enfriamiento muy rápido de un magma ascendente de alta viscosidad. Presentan en mayor o menor grado alteración a minerales arcillosos, como lo demuestran los contenidos de montmorillonita (22,95 %), dados por los análisis de (ATD), petrográfico y RX, donde destacan los bajos por cientos de feldespatos, calcita, dentro de la composición mineralógica. La dureza varía de 5 – 6 en la escala de Mohs, aunque de dureza media, debido a su alta friabilidad el poder abrasivo es muy bajo, produciendo un efecto muy suave sobre la

superficie. Su textura es esponjosa o espumosa; de color ceniza, amarillento; de brillo sedoso. Poseen un coeficiente de fortaleza promedio de $f=1,4$ según la escala de Protodiakonov.

1.2.1 Tendencias acerca del uso de las tobas vítreas en Cuba

Las tobas vítreas son rocas de origen volcano-sedimentario, son tobas de composición ácida y medias con colores claros grises o beige, muy porosas y ligeras. Predominan las tobas de grano fino y medio, en ocasiones algo alteradas ó montmorillonitizadas, con presencia de carbonato de calcio e interestratificada con calizas silicificadas, asociados a las rocas de los Arcos Volcánicos (Batista, 2010).



Figura 1: Yacimiento de tobas vítreas de Sagua de Tánamo

1.2.3 Estado que presentan las tobas vítreas como materiales alternativos en Cuba

En la tabla 1 se muestran los principales yacimientos de este material tobáceo en Cuba.

Tabla 1: Principales yacimientos de tobas vítreas de la zona oriental de Cuba.

Yacimientos	Localización
Jiguaní	Granma
Ají de la Caldera	Guantánamo
Amansaguapo	Sagua de Tánamo, Holguín
Lirial	Sagua de Tánamo, Holguín
Guaramanao	Holguín
Sagua de Tánamo	Sagua de Tánamo, Holguín

En otras regiones de Cuba las perspectivas son más limitadas. La mayor cantidad de material tobáceo presentes en nuestro país se encuentran con moderado o alto grado de zeolitización.

1.2.4 Utilización de las tobas vítreas

En general esta materia mineral se ha estudiado como medio filtrante de diferentes líquidos y gases como: aceites, aguas, cerveza, vinagre, vino, alcohol, combustibles, áridos ligeros, abrasivos. En la actualidad solo se utiliza para fabricar detergentes (Batista ,2010).

Los recursos pronósticos de tobas vítreas se valoran en unos 400 millones de toneladas métricas, solamente en las provincias de Holguín, Santiago de Cuba y Guantánamo, regiones estas donde las perspectivas son considerables.

Las tobas vítreas han sido probadas para su utilización como:

1. Aislante térmico en la industria cerámica y en otras industrias como el níquel
2. Material filtrante en la purificación de acetileno.
3. Lozas antiácidas
4. Medio filtrante en la planta de cloro sosa
5. Relleno de plástico
6. Filtrante de cerveza, jugo de henequén, ron y vino
7. Decapado de metales
8. Medio filtrante en la industria azucarera
9. Floculante en la potabilización de aguas superficiales
10. Limpiador doméstico
11. Como material puzolánico para cemento romano

Atendiendo a sus parámetros físicos – químicos pueden ser utilizadas en:

1. Abrasivo en los ralladores de las cajas de fósforos
2. Fabricación de lozas de falso techo
3. Fabricación de hormigón celular (Siporex)
4. Para ladrillos aligerados sin quemar

En el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM) esta materia prima ha sido objeto de estudio en diferentes Trabajos de Diplomas y Tesis de Maestrías acerca de su uso, utilización y sustitución como material puzolánico en la fabricación de cementos en la industria de nuestro país. (López, 2006; De

Armas, 2006; Muxlanga, 2009; Cabrera, 2010; Solís, 2011; Almenares, 2011, Guillen, 2013, Verdecia, 2015), han estudiado materiales similares las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo y otros similares a las tobas vítreas para su utilización como árido ligero y puzolana natural.

1.3 Composición mineralógica de las tobas vítreas

En la tabla 2 se muestran los porcentajes de la matriz vítrea, así como el contenido de arcilla y las principales fases mineralógicas cristalinas encontradas.

Tabla 2: Composición mineralógica de las tobas vítreas del yacimiento de Sagua de Tánamo.

Material puzolánico	Matriz vítrea (%)	Contenido de arcilla (%)	Fases cristalinas
Tobas vítreas	54 – 80	16 – 39	Montmorillonita ortoclasa, cuarzo

Sobre la base de la composición química de las tobas analizadas se pueden clasificar geológicamente como rocas vulcano-sedimentarias, de composición dacítica, Se conoce que las tobas de composición dacítica tienen buena puzolanidad. (Almenares, 2011)

1.4 Localización

La mayoría de los depósitos de toba vítrea se distribuyen en las provincias orientales, es decir, Holguín, Guantánamo, Granma y Santiago de Cuba, siendo los más importantes los denominados: Ají de la Caldera, Jiguaní y Guaramanao, el Lirial y Amansaguapo. En el resto del territorio nacional, como resultado de la ejecución de trabajos temáticos regionales, se ha podido conocer la existencia de dispersas y escasas ocurrencias de tobas vítreas, ubicadas en las provincias

de Camagüey y Matanzas, encontrándose en esta última, el depósito nombrado como Río Tosca, evaluado hasta los trabajos de exploración.

1.5 Características geológicas

La toba vítrea es de composición ácida y media, gris o cremosa, muy porosa, predominando la toba de grano fino y medio, en ocasiones algo alterada a montmorillonita, o a carbonato, e interestratificadas con caliza silicificada, asociada al arco volcánico Paleógeno y al arco volcánico Cretácico. La mayoría de las ocurrencias y los yacimientos en la región oriental de Cuba se encuentran fundamentalmente en las formaciones Vigía (E 12 – e 5) y Sabaneta (e 1b-5) (incluye a las antiguas formaciones Miranda y Castillo de los Indios), pertenecientes a la rama norte del arco volcánico del Paleógeno, apareciendo ocurrencias importantes subordinadamente en la formación Haticos (E 12 y Caney (e 5a). Fuera de la región oriental, en el arco volcánico Cretácico, existen ocurrencias generalmente dispersas de toba vítrea, la que se halla en las formaciones Chirino (b5 – k1), Vidot y Crucero de Contramaestre (k 2 – k 51).

Existen unos 70 puntos positivos, pero depósitos de interés con los estudios geológico terminados o avanzados son: Río Tosca, Ají de la Caldera, Jiguaní, Guaramanao, El Lirial y Amansaguapo, pertenecientes a las provincias Matanzas, Guantánamo, Granma y Holguín.

La toba vítrea (vidrio volcánico) se caracteriza por presentarse en considerables volúmenes ubicados superficialmente, con fácil acceso, lo cual facilita la extracción, beneficio y comercialización de este tipo de materia prima.

Dentro del grupo de depósitos con elevado grado de estudio, se puede considerar como representativo, desde el punto de vista geológico, el depósito Ají de la Caldera, constituido por toba vítrea de grano fino a medio, color blanco grisáceo, sin intercalaciones estériles, generalmente se presenta algo fracturada, aunque en ocasiones está totalmente agrietada.

1.6 Investigaciones realizadas acerca del estudio de las tobas vítreas

Con el objetivo de evaluarlos y ser utilizados provechosamente para la fabricación de un árido fino asfáltico, las tobas vítreas y el desecho de la planta de coral han sido objeto de estudio de varios investigadores.

López (2006), mostró resultados preliminares sobre las potencialidades como áridos ligeros y puzolanas del yacimiento de Sagua de Tánamo, estos resultados fueron preliminares, al no contar el laboratorio donde se efectuaron los ensayos con las debidas certificaciones de calidad, lo cual no permite homologar sus resultados, dando lugar a la necesidad de efectuar nuevas investigaciones.

Armas (2008), se demostró que la dosificación de 15 a 30 % de tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo avalan su puzolanidad y su uso como aditivo al cemento y los hormigones, sin embargo no describe la granulometría adecuada para el mezclado, ni el uso de tobas como árido para la fabricación de hormigones y morteros.

Muxlanga (2009), desarrolló un estudio sobre la evaluación de las tobas vítreas del yacimiento de Sagua de Tánamo para su utilización como árido y puzolana natural en la construcción, donde se aborda que las tobas vítreas tienen gran utilización a nivel mundial al tener diferentes aplicaciones, se realizaron diferentes ensayos de resistencia y de granulometría, se utiliza un triturador de mandíbula para disminuir el tamaño del material utilizado y también se utiliza un molino de bolas con el objetivo de disminuir aún más el tamaño de partículas al obtener resultados favorables como puzolana.

Cabo de Villa Figueral, Sergio (2010) realizó una valoración de mezclas de arcillas de la región de Centeno para su utilización en la industria de materiales locales. El mismo llegó a las conclusiones de que las mezclas con adición de tobas vítreas presentan mayor absorción de agua a medida que se aumenta su contenido en la mezcla, experimentando mayor pérdida de peso al cocerla hasta

750 °C, lo que demuestra las ventajas de esta propiedad de tener mayor facilidad de colocación de los ladrillos cerámicos, a la vez que incrementan las propiedades de mayor aislamiento térmico y acústico.

Cabrera (2010), realizó una evaluación de las tobas vítreas de los yacimientos de la provincia de Holguín, para utilizarlas como puzolana natural en los materiales de la construcción. Al material analizado se le realizan ensayos para determinar la resistencia a la flexotracción y a la compresión de morteros y se comprueba que estos morteros superan la resistencia de los morteros de albañilería y las tobas influyen positivamente en la resistencia mecánica de estos. Se debería haber evaluado también los materiales a un mayor tiempo de fraguado y no se separan las fases de la montmorillonita de la arcilla en las tobas vitroclásticas.

Almenares (2011), determinó las propiedades puzolánicas de los materiales tobáceos de la región de Holguín, con perspectivas a ser utilizadas como puzolanas naturales, al sustituir un 15 y un 30 % en peso, de estos materiales por cemento, realiza una serie de análisis para determinar la composición química y mineralógica de estos materiales y obtiene como resultado que al realizar la sustitución de los materiales tobáceos por cemento, los morteros obtenidos cuentan con la resistencia suficiente para ser utilizados en la albañilería, pero no utiliza ningún método para separar los granos de montmorillonita de otro tipo de arcilla que se encuentra contenida en las tobas vítreas, como un factor planteado por el autor que limita la actividad de los referidos materiales.

Días Álvarez, Adrián (2014), realizó una evaluación de mezclas de arcillas con adición de tobas vítreas para la fabricación de ladrillos cerámicos en Bayamo, Granma. El mismo llegó a la conclusión que se puede mejorar la calidad de los ladrillos cerámicos y otros productos empleando las mezclas con tobas vítreas, aditivo que se comporta como un fundente, lo cual permite disminuir la temperatura de cocción del ladrillo y/o el tiempo que el mismo se encuentre en el

horno. De las mezclas que se utilizaron y se le realizaron las pruebas correspondientes presentaron un mejor resultado aquellas que tenían un 10% de tobas vítreas.

Los recursos pronósticos de tobas vítreas se valoran en unos 400 millones de toneladas métricas, solamente en las provincias de Holguín, Santiago de Cuba y Guantánamo, regiones estas donde las perspectivas son considerables. La importancia de la evaluación de las tobas vítreas como puzolanas naturales, está dada por su elevada reactividad o puzolanidad, a partir del alto por ciento de vidrio volcánico, presente en su composición petrográfica. La puzolanidad de estas rocas en Cuba, solo ha sido estudiada muy puntualmente, no obstante existen resultados alentadores, pero solo a nivel de laboratorio y muestras aisladas (Batista et al. 2010).

Varios autores como López 2006; De Armas 2008; Muxlanga 2009; Cabrera, 2010; Solís, 2011 y Almenares, 2011, han estudiado estos materiales, como es el yacimiento de tobas vítreas Sagua de Tánamo para su utilización como puzolana natural. En estas investigaciones se evaluó la sustitución de 15 y 30 % de tobas por cemento, con la obtención de resultados favorables; sin embargo, estos se consideran preliminares, lo cual no ha permitido su empleo, permitiendo continuar con nuevas investigaciones.

La evaluación entonces de materiales puzolánicos consiste obviamente en encontrar materiales que por sus características químicas, mineralógicas y petrológicas, incluso morfológicas hagan suponer la posibilidad de actividad puzolánica. Las tobas de origen volcánico, tanto vitroclásticas como zeolitizadas, tan abundante a todo lo largo y ancho de nuestro país, constituyen una fuente prácticamente inagotable de puzolanas.

Las ventajas que presentan las tobas vítreas y como fuente de puzolanas, unido a las deficiencias que se presentan en la producción de cemento a nivel nacional las hace poseer la mayor perspectiva de utilización para la producción de

materiales cementicios suplementarios que permita orientar su desarrollo de acuerdo con las condiciones establecidas para su uso, no solo su empleo como adición puzolánica al CPO, sino también su empleo en la elaboración de nuevas fórmulas aglomerantes, evaluadas con buenos resultados a escala industrial para el caso del yacimiento Pontezuela con mezclas de clínquer- caliza –yeso.

Saricimen et al. (1992), a través de la realización de estudios de campo y de laboratorio en zonas (en los países árabes del golfo) donde las condiciones ambientales son agresivas y seriamente corrosivas, demostraron que el concreto en esta región se debe diseñar no solamente para alcanzar alta resistencia sino también para que posea mayor durabilidad. Para esto probaron el uso de las puzolanas naturales, y con ello se logró extender la vida de servicio de las estructuras.

Day y Shi (1994), también analizaron el efecto del agua inicial de curado en la hidratación de los cementos que contienen puzolana natural. Como resultado obtuvieron, que las pastas de cemento Pórtland son más sensibles en el período inicial de curado que las de cemento Pórtland Puzolánico (contenido de puzolana 30 %) porque ocurre la hidratación del cemento Pórtland más rápidamente que la reacción puzolánica en pastas de cemento Pórtland Puzolánico. La hidratación del cemento Pórtland y la reacción puzolánica continúan después que las probetas se extraen a un ambiente seco (humedad relativa de 20 %, aproximadamente). La presencia de puzolanas naturales retarda la hidratación normal del cemento Pórtland en las primeras horas, pero la acelera después de un día.

Shannag y Yeginobali (1995), recomiendan la adición de puzolana natural al cemento Pórtland y al hormigón por separado, ya que reduce el calor de hidratación, prolonga el tiempo de fraguado y mejora la consistencia del cemento.

1.7 Tendencias acerca del uso los desechos de coral en Cuba

1.7.1 Características del material

El material que se ha de utilizar es: desecho de coral de la Planta de preparación mecánica de Cienos Carbonatados de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba”.

Residuo sólido carbonatado de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba”

El depósito de Cienos Carbonatados es extraído de los yacimientos situados en la bahía de Moa, está compuesto por sedimentos clásticos friables cuaternarios, de carácter biodetrítico y terrígeno, de color gris con caracoles y otros restos marinos que son eliminados en el proceso de beneficio del carbonato de calcio y donde se convierte en una pulpa cruda espesa de 15 a 25% de sólido sin riesgo para la salud del trabajador. Se caracteriza por un elevado contenido de carbonato de calcio, el cual por lo general es superior al 80 %. Esta área tiene cerca de 300 m de largo por 90 m de ancho y 2,5 m aproximadamente de alto lo que equivale a un volumen igual a 67500 m³.

Los estudios mineralógicos presentados en la tabla 3, permiten establecer minerales vinculados con los carbonatos como minerales arcillosos, los óxidos de hierro y presencia de magnetita, limonita, cromita, serpentina. Además, calcita, aragonito y glauconita, que son minerales autógenos y clorita, granate y cuarzo.

Tabla 3: Composición mineralógica del residuo sólido carbonatado.

Minerales que contienen hierro			
Magnetita	Fe_3O_4	Ilmenita	FeTiO_3
Limonita	$\text{FeO} \cdot \text{OH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Cromita	$\text{Cr}_2\text{O}_4\text{Fe}$
Otros Óxidos e hidróxidos de Fe	—	—	—
Mica	$\text{H}_2(\text{Mg,Fe})\text{Al}_2\text{SiO}_7 \cdot \text{KAl}_2(\text{OH,Fe})\text{AlSiO}_{10}$	—	—
Carbonatos			
Calcita-Aragonito	CaCO_3	Fragmentos de conchas calcáreas	—
Fragmentos de rocas carbonatadas	—	Fósiles -Micro fauna	—
Otros descritos en menores proporciones			
Hornblenda	Pirita limonitizada	Clorita	Plagioclasa
Feldespatos	Anfíbol	Grafito	—

1.7.2 Investigaciones realizadas acerca de la materia prima desecho de coral

El antecedente más lejano acerca de este yacimiento se remonta a la década del 50, con el proceso de dragado por parte de los norteamericanos; la información al respecto debió atesorarse en los archivos del entonces Servicio Geológico Norteamericano, donde es obvio que se debió haber realizado una valoración geólogo – económica que permitiera tomar la decisión de crear y emplazar una tecnología de tal magnitud y complejidad, y que hasta la actualidad se haya sostenido una explotación continuada del yacimiento de cienos carbonatados. Los primeros estudios de los que hay referencia, se remontan a (Correa 1957) quien realizó un estudio sobre extracciones experimentales de fangos carbonatados al Oeste de Cayo Moa Grande.

En la década de los 60 se inicia la extracción de los Cienos Carbonatados (denominados en esa época “coral” o “fangos coralinos”). En 1964 el Centro Coordinador para el Desarrollo del Norte de Oriente, solicitó al I.C.R.M. (Instituto Cubano de Recursos Minerales) la realización de estudios de localización y

ubicación de las reservas del mal llamado “coral”, para después tomar decisiones respecto a la tecnología a adoptar en el proceso de refinación del níquel.

Posteriormente Nedved (1966), presentó el informe final de los trabajos de búsquedas de fangos coralinos, donde se tomaron diferentes muestras evaluándose en las mismas el contenido de carbonato de calcio CaCO_3 y granulométricamente por las mallas 20, 48, 100, 200 mesh.

Se reportan en la literatura (Castillo 1988), problemas con la extracción y utilización de la retenida en la malla de 20 mesh) constituidos por conchas de moluscos, algas calcáreas y restos de corales teniendo en cuenta su perspectivas por contenidos de carbonato de calcio.

En los trabajos realizados por (Nápoles 1992), se evaluó la materia prima para contenido de CaCO_3 y granulométricamente en las mallas +20, +100, +325 y - 325 mesh y se calcularon reservas en categoría industrial.

La principal deficiencia en la ejecución de estos trabajos radica en que no se contó con los recursos técnicos adecuados que garantizarán el posicionamiento confiable de las labores realizadas en correspondencia con la exigencia de las escalas de los trabajos. Con posteridad especialistas de (CEPRONIQUEL 1997) recalcularon las reservas sobre la base de la información de (GEOMAR 1992) obteniendo reservas muy inferiores a las reportadas por (GEOMAR 1992).

En trabajos realizados por (Campos 2001), se refleja el carácter terrígeno de los sedimentos que conforman el depósito, además de la composición química y mineralógica donde se establece la exclusión de los sedimentos terrígenos los cuales proceden de la formación de las rocas de la asociación ofiolítica y de la corteza de interperismos laterítico vinculados a la misma.

El Cieno Carbonatado, como ya se ha dicho es minado en la bahía y transportado hasta la planta de coral establecida en áreas aledañas al puerto de Moa. En dicha

planta es sometido a un proceso de beneficio para la utilización del material menor de 20 mesh, y el resto constituye el rechazo que es almacenado en depósitos cercano a dicha planta.

Se han realizado otras investigaciones en los cuales el Cieno Carbonatado constituye el objeto de estudio, se establecen las características físico - químicas de la hidromezcla de Cieno Carbonatado para la evaluación del sistema de bombeo en la planta de Neutralización. Hernández (2003); muestra el gráfico que relaciona el factor de fricción en función del número de Reynolds y Hedstron.

Jiménez (2005), partiendo de la caracterización del Cieno Carbonatado donde se evalúa además la instalación existente para la transferencia de la pulpa desde el puerto hasta la planta de Neutralización.

Se obtiene un modelo matemático Romero (2004) que describe las características granulométricas de suspensiones lateríticas y Cieno Carbonatado y se definen los efectos de la característica granulométricas y coloides químicas sobre la reología de dichas suspensiones.

Se realiza un estudio sobre la caracterización de las pulpas de Cieno Carbonatado para su perfeccionamiento en el hidrotransporte (Caballero 2008), con el objetivo de describir el comportamiento reológico de las muestras tomadas y el modelo matemático que lo describe. En el análisis de granulometría de las pulpas se obtiene un predominio mayoritario de partículas finas inferiores a 0.046 mm siendo el 70% en peso de las muestras y un comportamiento reológico de flujo plástico Bingham.

(Martínez, 2009), realiza una caracterización de las pulpas de Cieno carbonatado que son transportadas por tuberías, donde obtiene un modelo matemático para describir el comportamiento de dicho material durante su movimiento por tuberías y la ecuación de la caída de presión para los plásticos Bingham a partir del modelo de Buckingham-Reiner.

La cinética de molienda realizada por Suárez (2010), permite obtener un tamaño de las partículas que componen un 80 % a fracción mayoritaria de las partículas, para ser utilizado en el proceso de Neutralización del licor de la Empresa "Comandante Pedro Sotto Alba".

En la actualidad todas las investigaciones realizadas sobre el cieno carbonatado, se basan principalmente en las características del material existente en la bahía de Moa para su utilización en la industria del níquel, y la caracterización de la pulpa del cieno carbonatado para su transportación por tuberías, y no se hace mención del posible uso del rechazo del cieno carbonatado con otro propósito. Sin embargo, la experiencia moense aporta, que este material puede ser utilizado como árido fino asfáltico para el bacheo del municipio. Por lo que se hace necesario un estudio para la caracterización del Cieno Carbonatado que forma parte del rechazo mediante un estudio cinético de la molienda de dicho material que permita una posible utilización del mismo en el proceso, insuficientemente estudiado hasta la actualidad. (LAVAUT y otros, 2003.)

1.7.3 Descripción del flujo tecnológico de la planta de coral

El objetivo de esta planta es formar una pulpa de Cieno Carbonatado con un contenido de sólido entre 40 y 45 % donde el contenido de arena debe ser menor del 17 % y el de cloruro menor de 700 ppm. Además sirve de almacenaje para mantener un suministro estable a la planta de Neutralización. El Cieno Carbonatado se extrae de las formaciones coralinas del fondo del mar en la Bahía de Moa. El proceso de minado se realiza con grúas que utilizan palas de cubos bivalvas como medio de extracción, las que depositan el Cieno Carbonatado sobre las patanas que lo trasladan hasta la planta de preparación de pulpa de Cieno Carbonatado. Una vez en esta, se descarga el mineral en un depósito, que tiene capacidad para 800 TM o se alimenta directamente al embudo de la lavadora. Esta descarga o alimentación se realiza con una grúa situada en tierra. El Cieno Carbonatado que se alimenta al embudo entra en contacto con el agua

inyectada por los spray, pasa a través de una criba fija que deja pasar las partículas menores de 152,4 mm y cae por gravedad a la lavadora de paletas; en este equipo es donde se define la eficiencia de la planta. Después de formada la pulpa en la lavadora se descarga a una zaranda vibratoria de doble paño donde el tamizado es ayudado por agua a presión (entre 30 y 40 lb/pulg), la malla superior es de 0,25 pulg. y la inferior es de 0,833 mm, después del tamizado se obtiene por una parte el rechazo (representa aproximadamente el 10 % del Cieno Carbonatado procesado) y por otro lado la pulpa de Cieno Carbonatado con un contenido de sólido entre 10 y 20 % (siempre debe buscarse los valores más bajos dentro de este rango), ésta pulpa es bombeada hacia el espesador 1; toda el agua utilizada en los equipos señalados anteriormente es proveniente del reboso del espesador 1. Para lograr disminuir la concentración de cloruro de sodio y aumentar el porcentaje de sólido a los valores establecidos existen dos sedimentadores con el sistema de lavado a contra corriente. Antes de ser alimentada la pulpa al sedimentador 1, entra en contacto con el agua de reboso del sedimentador 2 en la caja de alimentación de este espesador, de aquí se alimenta al sedimentador por un tubo que descarga en la parte superior y central del mismo, en éste tubo es donde ocurre el proceso de lavado. Por el fondo del sedimentador 1 se descarga la pulpa espesada y que es bombeada a la caja de alimentación del sedimentador 2 donde se le adiciona agua cruda para efectuar la última etapa de lavado de la misma forma que se hizo en el sedimentador 1, después de espesada la pulpa se bombea a un tanque (TK-3) de donde se bombea para la planta de Neutralización.

Conclusiones del capítulo

El análisis de las propiedades generales de las tobas vítreas y desecho de coral evidencian que pueden ser utilizadas en el proceso de mezclado con el asfalto, reúnen características para poder utilizarse en la composición de las mezclas asfálticas.

A partir de la bibliografía consultada, se considera que es insuficiente el conocimiento que existe sobre el estudio de las propiedades físico-mecánico de las tobas vítreas y el desecho de coral, para su uso en la construcción de pavimentos.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Introducción

En este capítulo se exponen los principales materiales a utilizar y los métodos que se emplean para obtener los mejores resultados. A continuación se da comienzo a la técnica experimental llevada a cabo, y su ulterior preparación para la realización de los distintos experimentos.

2.1 Métodos utilizados en la investigación

Los métodos de investigación pueden dividirse para su estudio en dos grupos: los métodos lógicos y los métodos empíricos. Los métodos lógicos 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 tobas vítreas de Sagua de Tánamo y desechos de coral de la Empresa Pedro Sotto Alba 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 Materiales a utilizar en la investigación

Tobas vítreas del yacimiento de Sagua de Tánamo.

Desecho de coral de la Empresa Pedro Sotto Alba.

Agregados pétreos. (Cemento asfáltico)

2.2.2 Equipamientos para la preparación mecánica de la materia prima

- Trituradora
- Molino de bola
- Tamizado

2.2.3 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. Luego se lleva a cabo la segunda etapa de trituración en una trituradora de mandíbula TQ (150X75), como se muestra en la figura 2; con un diámetro de alimentación de 100 mm y de descarga de 25 mm, respectivamente. En la misma se trituró hasta obtener con una granulometría entre 10 y 20 mm, descargado en la segunda etapa del proceso de trituración. El material sometido a un proceso de molienda.



Figura 2: Trituradora de mandíbulas TQ (150x75)

La trituradora de mandíbula TQ (150x75) utilizada en la segunda etapa de trituración 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.

2.2.4 Molienda

En el proceso de molienda, se utilizó un molino de bolas (figura 3), que posee un diámetro de 198 mm, una longitud de 245 mm y una velocidad de rotación 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 se realiza 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 aumentando la superficie de contacto entre las mismas, logrando una mayor interrelación entre los materiales empleados y una buena homogenización de la mezcla.



Figura 3: Molino de bolas.

2.3 Ensayos que se le realizan a la materia prima

Material más fino que el tamiz No 200

Se extrae una muestra de 500 g donde 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:

$$\% \text{ de material que pasa por el tamiz No. 200} = \frac{a - b}{a} \times 100 \% \quad (1)$$

Donde:

a: peso de la muestra original seca.

b: peso de la muestra seca después de lavada,

Ensayo Granulométrico (Anexo #3):

Se toma una muestra de 512 g, se pasa a la tamizadora compuesta por 6 tamices de 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, lo que permite determinar el módulo de finura.

El módulo de finura se puede calcular mediante la expresión:

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

Peso Volumétrico (Anexo #4):

En este ensayo 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 hasta rellenarse, se pesa y se calcula la densidad suelta y la densidad compactada con la siguiente fórmula:

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

Dónde:

D: densidad (suelta o compactada)

P: Peso (suelto o compactado)

Tara: Peso del recipiente

V: Volumen del recipiente

2.4 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. Ellos son el método Marshall y el Método Hveem. El Método Marshall es el más utilizado en Cuba, y es el que se realiza a nivel de laboratorio en la provincia de Holguín.

El diseño de una mezcla asfáltica consiste en seleccionar una granulometría y un porcentaje de asfalto, de tal 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.

2.5 Propiedades consideradas en el diseño de mezclas asfálticas

El diseño de una mezcla asfáltica consiste básicamente en la selección del tipo de agregado y la granulometría 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. 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.

2.6 Ensayos realizados al asfalto

2.6.1 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, que soporta un peso de 100g 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.

2.6.2 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.

2.6.3 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. 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.

2.6.4 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 que se produzca en el asfalto durante las operaciones de mezclado.

2.6.5 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.

2.6.6 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.

2.6.7 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.

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 de las tobas vítreas y el desecho de coral en estudio, que forman parte del rechazo en sus respectivos procesos para su utilización como árido fino asfáltico.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

Introducción

Los resultados obtenidos luego de tabulados o graficados fueron sometidos a su análisis y discusión, los cuales se apoyaron en una amplia búsqueda bibliográfica que permitió de manera coherente profundizar en las valoraciones científicas de los resultados alcanzados.

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 las tobas vítreas y los desechos de coral, se desea utilizarlos como 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.

3.1 Ensayos realizados a las materias primas.

Material más fino que el tamiz No 200

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.

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

$$\% \text{ de material que pasa por el tamiz No. 200} = \frac{a - b}{a} \times 100 \% \quad (1)$$

Donde:

a: peso de la muestra original seca.

b: peso de la muestra seca después de lavada.

Al aplicarse esta fórmula se obtuvo un % de material de tobas vítreas = 7%

Al aplicarse esta fórmula se obtuvo un % de material de desechos de coral = 3%

Tabla 4: Material fino que pasa por el tamiz No. 200.

Materia Prima	% de material que pasa por el tamiz No. 200
Tobas vítreas	7%
Desecho de coral	3%

- **Ensayo Granulométrico (Anexo #3):**

Primeramente, se tomaron una muestras de tobas vítreas y una de desechos de coral, 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 5: Resultados de la muestra de tobas vítreas.

TAMIZ (mm)	Peso Retenido (g)	Retenido en (%)		Pasa (%) Acumulado
Pasado-Retenido		Parcial	Acumulado	
2,38	50	9,765	9,765	90,234
1,19	40	7,812	17,578	82,421
0,59	40	7,812	25,390	74,609
0,297	170	33,203	58,593	41,406
0,149	90	17,578	76,171	23,828
0,074	12	2,343	78,515	21,484
Fondo	110	21,484	100	0

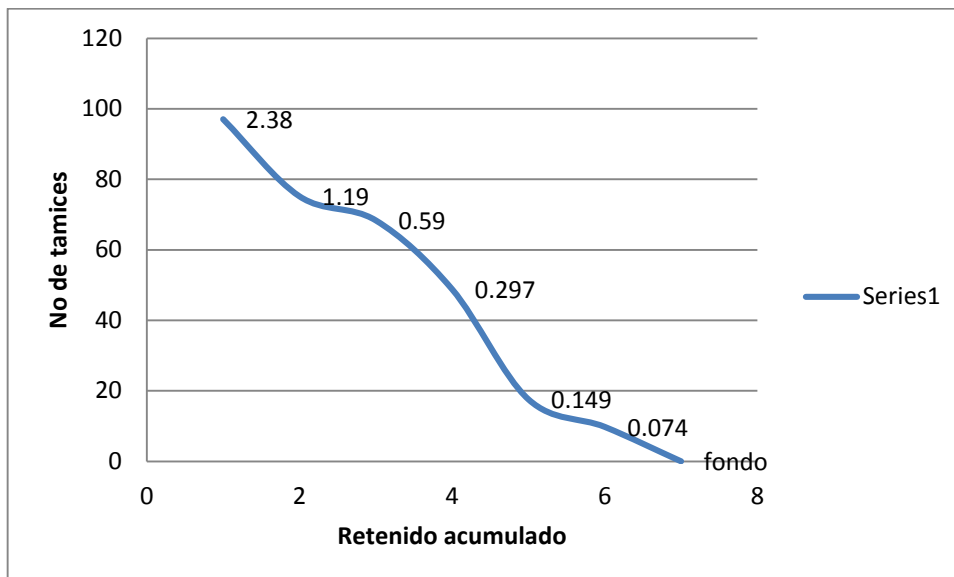


Figura 4: Curva granulométrica para las tobas vítreas

Tabla 6: Resultados de la muestra de desechos de coral.

TAMIZ (mm)	Peso Retenido (g)	Retenido en (%)		Pasa (%) Acumulado
Pasado-Retenido		Parcial	Acumulado	
2,38	15	2,929	2,929	97,070
1,19	112	21,875	24,804	75,195
0,59	35	6,835	31,640	68,359
0,297	100	19,531	51,171	48,828
0,149	160	31,25	82,421	17,578
0,074	40	7,812	90,234	9,765
Fondo	50	9,765	100	0

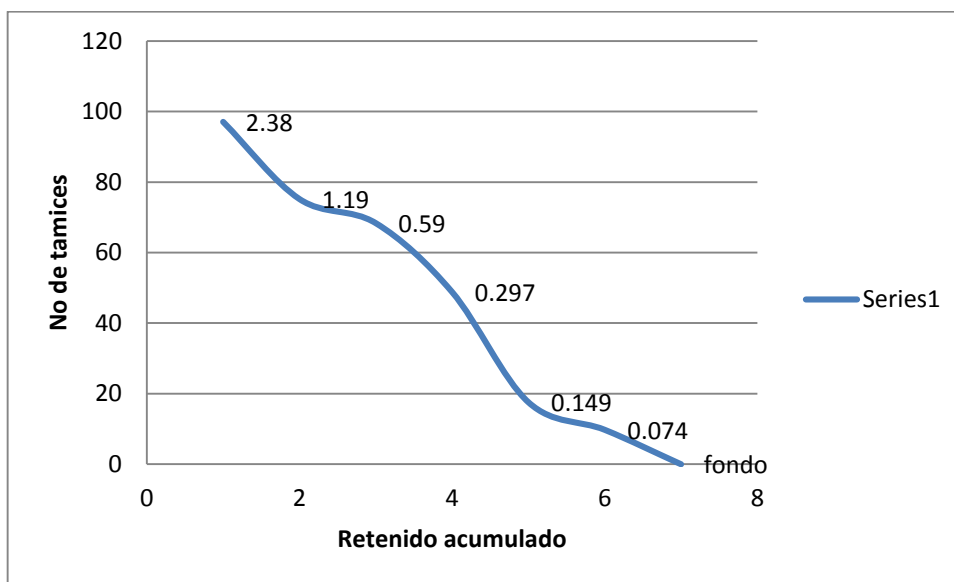


Figura 5: Curva granulométrica para el desecho de coral

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

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

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

Muestra de las tobas vítreas: 3,5 % Muestra desechos de coral: 3,8 %

Las comparaciones del resultado de este ensayo con la NC 759: 2010 concluyen en el que material en ese segundo estado no cumple con la granulometría para filler, debido a que el % que pasa el tamiz 0,074 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.

Peso Volumétrico (Anexo 4):

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 4156 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 4408 g.

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

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

Dónde:

D: densidad (suelta o compactada)

P: Peso (suelto o compactado)

Tara: Peso del recipiente

V: Volumen del recipiente

Se obtuvo que para la toba vítrea:

$$D_{\text{suelta}} = 1,08 \text{ g/cm}^3$$

$$D_{\text{compactada}} = 1,20 \text{ g/cm}^3$$

Se obtuvo que para el desecho de coral:

$$D_{\text{suelta}} = 1,72 \text{ g/cm}^3$$

$$D_{\text{compactada}} = 1,13 \text{ g/cm}^3$$

3.2 Resultados para los desechos de tobas vítreas

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

Tabla 7: Resultado de los ensayos realizados con el ligante tobas vítreas.

Ensayos realizados	Resultados	Normas de referencias	Índices de calidad	Observaciones
Penetración (100 g, 25 ° C, 5 seg) (1/10 mm)	50,10	NC401:2005	50-70	Cumple
Punto de Ablandamiento Anillo y Bola (° C)	45,05	NC516:2007	51-58	No Cumple
Punto de inflamación (° C)	280	ASTMD92:2007	Mín.230	Cumple
Punto de Combustión (° C) Copa Cleveland	315	-	Mín. 300	Cumple
Peso Específico (g / cm ³)	1,010	NC437:2005	> 1,0	Cumple
Ductilidad en cm.	> 100	NC515:2007	> 100	Cumple
Pérdida por Calentamiento película delgada. (%)	0,29	NC54118:1978	Máx. 0,50	Cumple
Penetración del residuo (%)	60,36	NC401:2005	> 75	No Cumple
Ablandamiento del residuo (° C)	52	NC516:2007	-	-
Incremento del punto de ablandamiento (° C)	4,7	-	Máx. 10.	Cumple

3.3 Resultados para los desechos de coral

La tabla siguiente muestra los resultados de los ensayos realizados al asfalto en la Planta de asfalto del municipio de Rafael Freyre, con la materia prima desechos de coral donde se muestra las normas de referencia, índices de calidad y las observaciones.

Tabla 8: Resultado de los ensayos realizados con el ligante desechos de coral.

Ensayos realizados	Resultados	Normas de referencias	Índices de calidad	Observaciones
Penetración (100 g, 25 ° C, 5 seg) (1/10 mm)	43,48	NC401:2005	50-70	No Cumple
Punto de Ablandamiento Anillo y Bola (° C)	51,66	NC516:2007	51-58	Cumple
Punto de inflamación (° C)	270	ASTMD92:2007	Mín.230	Cumple
Punto de Combustión (° C) Copa Cleveland	305	-	Mín. 300	Cumple
Peso Específico (g / cm ³)	2,32	NC437:2005	> 1,0	Cumple
Ductilidad en cm.	> 100	NC515:2007	> 100	Cumple

Pérdida por Calentamiento película delgada. (%)	0,58	NC54118:1978	Máx. 0,50	No Cumple
Penetración del residuo (%)	49,88	NC401:2005	> 75	No Cumple
Ablandamiento del residuo (°C)	62	NC516:2007	-	-
Incremento del punto de ablandamiento (°C)	5,6	-	Máx. 10.	Cumple

La planta del municipio de Rafael Freyre al realizar el ensayo Marshall a las probetas compuestas por los materiales analizados anteriormente obtuvo los resultados que se muestran a continuación en la tabla 9.

Tabla 9: Resultados del Ensayo Marshall para las materias primas

Materias Primas	Asfalto (%)	Densidad Real(g/cm³)	Estabilidad(KN)	Deformación(mm)	% vacío
Tobas vítreas	5,4	2,22	7,51	2,04	6,3
Desechos de coral	5,8	2,57	11,43	3,16	4,8

Teniendo en cuenta los resultados de esta mezcla asfáltica, así como los ensayos a las tobas vítreas y al desecho de coral se propone una mezcla utilizando el desecho de coral.

Como resultado final de la mezcla se obtiene:

$$C_{\text{óptimo}} \text{ de asfalto} = \frac{5,4+6,2}{2} = 5,8 \%$$

Tabla10: Dosificación de la mezcla.

Materiales	%	Rango
Cemento asfáltico	5,8	5,3 – 6,3
Polvo de Piedra (MP)	62	
Granito 3/8(10mm)	32,2	

Teniendo en cuenta los resultados de estas mezclas asfálticas, así como los ensayos a las tobas vítreas y el desecho de coral se propone evaluar una mezcla utilizando el desecho de coral. Se debe realizar utilizando 1 dosificación:

5,8 % de cemento asfáltico, + 62 % de materia prima, + 32,2 % de granito.

3.4 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 ha tomado tres parámetros fundamentales basados en tres puntos de vista distintos: el medioambiental, el económico y el técnico.

3.5 Impacto medioambiental de las tobas vítreas

El municipio de Moa cuenta con una amplia reserva de minerales para el desarrollo de la industria cerámica, debido a ello, requiere un estudio detallado del impacto que provocaría su explotación al medio ambiente. Por la extracción de minerales y la introducción de desechos mineros, se originan cambios en el entorno.

Derivados del desarrollo de la explotación de yacimientos de materiales para agregados asfálticos se encuentran los siguientes impactos ambientales:

- Alteraciones del suelo y modificación de sus propiedades.
- Alteraciones en las aguas superficiales (alteración de los ríos, drenajes superficiales, contaminación física y química de las aguas superficiales)
- Alteraciones en las aguas subterráneas (depresión del nivel freático, contaminación química del acuífero).
- Alteraciones en la atmósfera (emisión de polvo, ruido y vibraciones).
- Destrucción de la flora y la fauna.
- Pérdida de la biodiversidad.
- Impactos sobre los riesgos geológicos (aumento del riesgo de desprendimientos o deslizamientos).
- Cambios geomorfológicos y del paisaje (modificación del relieve, alteración del color, rotura de la cuenca visual, introducción de formas extrañas, focalización de la percepción en la cantera en detrimento de otros puntos).
- Impactos sobre el medio socio - económico (limitación en los usos del suelo, destrucción de recursos culturales, impactos sobre las vías de comunicación).

Problemas ambientales en las diferentes etapas del proceso

En la fabricación de objetos cerámicos se tienen en cuenta tres etapas:

1. Extracción de la materia prima.
2. Beneficio de los minerales.
3. Conformación y acabado del producto.

Extracción de la materia prima

La extracción se realiza a cielo abierto, por vía seca y su impacto depende siempre de la extensión y la ubicación del terreno sobre todo lo que respecta a condiciones climáticas, regionales y de infraestructura, la misma conlleva a serias alteraciones medio ambientales.

Entre los problemas fundamentales que provoca el laboreo minero al medio ambiente podemos encontrar:

- La erosión de los suelos.
- Destrucción de la flora y fauna del lugar.
- Emisiones de polvo a la atmósfera.
- Problemas propios de contaminación por el uso de medios de transportación y extracción mecanizada.
- Desestabilización de pendientes.

3.6 Impacto medio ambiental del Cieno Carbonatado

La explotación del coral es de mucha importancia y se debe tener un control y cuidado riguroso, ya que este proceso afecta la flora y la fauna marina, provocando la extinción de la primera y la migración o muerte de la segunda, siendo esta última, una pequeña fuente de alimentación de los habitantes moenses. También el minado de Cieno Carbonatado en la bahía de Moa trae como consecuencia un aumento de los niveles de emisión de gases a la atmósfera a partir de los gases de escape de los motores de la draga y el remolcador. El dragado del Cieno Carbonatado provoca cambios en la morfología del fondo marino, esto trae aparejado un agotamiento del mineral útil extraíble del yacimiento debido a su explotación. Una vez que el coral es extraído, procesado, utilizado y desechado, forma parte de la acumulación de rechazo de Cieno Carbonatado en áreas aledañas a la planta de coral, donde se han generado una serie de problemas medio ambientales, debido a los elementos contenidos en ellos, los que afectan el suelo y provocan la extinción de la

vegetación que crece en el área. Como consecuencia de esto los animales que viven en esta zona se encuentran obligados a emigrar a otro lugar y otros mueren. Por la gran cantidad de rechazo de Cieno Carbonatado existente en estos momentos, se ha reportado un alto nivel de salinización de los suelos aledaños a las áreas de depósito de dicho material. Por lo tanto, se hace imprescindible la utilización de nuevos depósitos lo que provocaría un daño aún mayor a la flora y la fauna.

3.7 Análisis técnico para las tobas vítreas y el desecho de coral respectivamente

Con los resultados del ensayo Marshall, que sería ideal, se puede realizar un análisis para verificar la calidad técnica que presentan las tobas vítreas y el desecho de coral para sustituir un porcentaje del polvo de piedra en el diseño de mezclas asfálticas en caliente. Para lograr este análisis se comparan los resultados de los ensayos correspondientes practicados a ambos materiales y se evalúa su conformidad de acuerdo a lo planteado por la NC-759:2010: “Áridos para mezclas asfálticas. Requisitos”. Al realizar la comparación entre los materiales citados anteriormente, concluimos en que las tobas vítreas y el desecho de coral, este último con más posibilidades, se pueden utilizar como agregado al polvo de piedra, 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 estos materiales 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, cumplen con lo requerido en el ensayo de material más fino que el tamiz 200, lo que contribuyen al ahorro del asfalto, aumento la de calidad y disminución de los gastos.

3. Presentan similitud al polvo de piedra en cuanto al % de huecos (aunque logra minimizarlo en un pequeño %)
4. Los materiales se manifiestan conforme además con respecto al módulo de finura, dándole ventaja sobre el polvo de piedra, de esta manera se considera que contribuyan en la disminución del % de vacíos.
5. Como observación negativa se tiene que al igual que el polvo de piedra, resultó no conforme respecto a la absorción, por otra parte no es conforme además en lo establecido para el peso específico corriente.

3.7.1 Análisis económico para las tobas vítreas y el desecho de coral respectivamente

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.

1. Teniendo en cuenta la planta de Sagua, por encontrarse más cerca del municipio de Moa, al trasladar 20 ton de material ahorraría 67,2 pesos con respecto a la cantera de Pilón.
2. Atendiendo al índice de consumo de polvo de piedra (tabla 9), si se dispone 20 m³ de tobas vítreas y de desecho de coral, los materiales pueden participar netamente en la composición de 81,6 ton de mezcla Semidensa o 46,8 ton de mezcla densa.

Tabla 11: Índice de consumo de polvo de piedra.

Tipo de mezcla	Semidensa	Densa
Consumo de polvo de piedra (m³/ton)	0,245	0,427

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 de las tobas vítreas y el desecho de coral determinan que pueden utilizarse como materiales alternativos en la composición de mezclas asfálticas, específicamente como agregados al polvo de piedra por su similitud en algunas propiedades con este material.

Al realizarse los ensayos correspondientes a los materiales y compararlos con el polvo de piedra teniendo en cuenta las especificaciones de diseño, se realizaron propuestas de dosificaciones capaces de obtener resultados que determinan que pueden ser utilizados como materiales alternativos en la composición de mezclas asfálticas.

CONCLUSIONES GENERALES

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

- Las tobas vítreas no reúnen características y propiedades muy acertadas para ser utilizadas como sustituto al polvo de piedra en mezclas asfálticas, sin embargo el desecho de coral si las reúne con más aceptación, 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 % de desecho de coral +32,2 % de granito +5,8 % 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 desechos de coral determinan que pueden utilizarse como material alternativo en la composición de mezclas asfálticas, específicamente como sustituto al polvo de piedra por su similitud en algunas propiedades químicas y mineralógicas con este material.
- En el rango de composiciones, granulometrías y demás condiciones experimentales utilizadas en este estudio los resultados obtenidos indican que la composición 62 % del desecho de coral resulta la más adecuada, porque se da el caso que una materia prima que son las tobas vítreas, son materiales ácidos, que no son los mejores y más adecuados, porque contienen sílice; mientras que el desecho de coral es un material básico, con contenido de calcio, lo que muestra en los ensayos realizados en los laboratorios que el desecho de coral es mucho mejor para ser utilizado como sustituto del polvo de piedra.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar las dosificaciones propuestas y conocer su resistencia mediante la prensa Marshall.
- Realizar un análisis económico teniendo en cuenta los resultados de los ensayos.
- Analizar estos materiales como alternativa para la estabilización de suelos.
- Evaluar el uso de estos materiales en la confección de hormigones hidráulico.
- Indagar más en el tema mediante la realización de investigaciones posteriores.

BIBLIOGRAFÍA

ALMENARES, R, ROGER, S. 2011. Perspectivas de utilización de tobas vítreas y zeolitizadas de la provincia Holguín como aditivo puzolánico.

ARANGURÍ, 2015. Revista mexicana de asfalto. Propiedades físicas y químicas del asfalto.

ARMAS, J. 2008. Reevaluación de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo como puzolanas naturales. Rolando Batista González (Tutor). Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 70 p.

BATISTA, R. 2010. Valoración del Potencial de Los Recursos Minerales para la Industria del Cemento en Cuba. Tesis Maestría. Inédito. IGP.

BATISTA, R., MARTÍNEZ, J., GONZÁLEZ, E.M. & M.A GARCÍA. et al., 2005. Depósitos de Rocas y Minerales Industriales en Cuba. Sus Principales Regularidades Estructuro – Formacionales y Perspectivas. Memorias. 1ra Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. CD Rom. La Habana.

BATISTA, R.; et al., 2010. INFOYAC. Sistema Informativo para Los Recursos Minerales de Cuba. IGP. La Habana. *Actualizado hasta el 2007, para los yacimientos tratados en esta investigación.*

BATISTA, R. 2010. El uso de las puzolanas naturales cubanas, una alternativa para el ahorro energético y el cuidado del medio ambiente.

CEPRONÍQUEL, 1997. Recálculos de las reservas sobre la base de la información de (GEOMAR 1992)

CASTILLO, D.1988. Informe sobre problemas de extracción y utilización de la materia prima de Cieno Carbonatado.

CAMPOS, G, M. 2001. Nuevos datos acerca de la naturaleza y génesis de los *sedimentos del yacimiento de Cieno Carbonatado en la bahía de Cayo Moa Grande. Holguín.*

CABALLERO, Y. 2008. Caracterización de las pulpas de Cieno Carbonatado para su perfeccionamiento en el hidrotransporte. Trabajo de Diploma 2008.

CABRERA, M. R. 2010: Valoración de las tobas vítreas y zeolitizadas de la provincia Holguín para su utilización como puzolana natural en la construcción. Roger Samuel Almenares Reyes (Tutor). Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 40 p.

CORREA, 1957. Estudio sobre extracciones experimentales de fangos carbonatados al Oeste de Cayo Moa Grande.

DAY, ROBERT L. Y SHI, CAIJUN. 1994. Effect of initial water curing on the hydration of cements containing natural pozzolan. Cement and Concrete Research 24(3):463-472.

DÍAZ, A. A. 2014. Evaluación de mezclas de arcillas y tobas vítreas para su utilización en la industria de materiales de construcción. [ISMM]. Moa 48.

FIGUEIRAL, S. R. C. D. V. 2010. Valoración de Mezclas de Arcillas de la Región de Centeno para su Utilización en la Industria de Materiales. Locales. [ISMM]. Moa 48 p.

GEOMAR, 1992. Cálculos de las reservas sobre la base de la información.

HERNÁNDEZ, L, R. 2005. Cálculo verificativo y propuesta de modificación para la ampliación de la instalación de bombeo de Cieno Carbonatado.

ICRM, 1964. (Instituto Cubano de Recursos Minerales) Realización de estudios de localización y ubicación de las reservas del mal llamado “coral”, para después tomar decisiones respecto a la tecnología a adoptar en el proceso de refinación del níquel.

JIMÉNEZ, D, Y. 2005. Cálculo verificativo y propuesta de modificación de la instalación de bombeo de Cieno Carbonatado desde el puerto hasta la planta de *neutralización de la Empresa “Pedro Soto Alba”*. Tesis de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 2005.

LAVAUT Y OTROS, 2003. Informe sobre la caracterización del mineral de rechazo por el proceso de Planta de Preparación de Pulpa. Ley de Minas. N° 76. La Habana. 1995.

Ley para la Inversión Extranjera. Nº 77. La Habana. 1995.

Ley sobre la Protección del Medio Ambiente. Nº 81. La Habana. 1997.

LÓPEZ, L .M. 2006. Caracterización geológica de las materias primas minerales de los Municipios Moa – Sagua de Tánamo para su empleo como materiales de construcción. Inédito. Trabajo de Diploma. ISMM.

MARTÍNEZ, R. R. 2009. Caracterización de las propiedades físico mecánicas del Cieno Carbonatado para el perfeccionamiento de su hidrotransporte por tuberías. Tesis de Maestría. ISMM 2009.

MUXLANGA, R. J. 2009. Evaluación de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo para su utilización como árido y puzolana natural en la construcción. Roger Samuel Almenares Reyes (Tutor). Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico 48 p.

NC 170 - 2002: Mortero fresco. Determinación de la consistencia en la mesa de sacudidas.

NC 173 - 2002: Mortero endurecido. Determinación de la resistencia a flexión y compresión.

NC 175, 2002: Mortero de albañilería. Especificaciones.

NC 178 - 2002: Áridos. Análisis granulométrico.

NC 251 - 2005: Áridos para hormigones hidráulicos—requisitos.

NC 54 – 207,1980: Cemento. Ensayo físico – mecánicos.

NC TS 527 - 2007: Cemento hidráulico. Método de ensayo. Evaluación de las puzolanas.

NEDVED, M 1966. Informe final sobre los trabajos de búsqueda de fangos coralinos al Sur de Cayo Moa Grande. 1966.

NORMACUBANA, NC 54-395:1987. Materiales de la construcción. Áridos. Términos y definiciones.

NÁPOLES, 1992. Evaluación de Mezclas de Arcillas de la Región de Centeno, Moa.

Oficina Nacional de Normalización NC- 054- 047. Materiales asfálticos. Determinación del punto de inflamación combustible. Método de ensayo.

Oficina Nacional de Normalización NC- 054- 048. Materiales asfálticos. Determinación del punto de ablandamiento mediante método anillo y bola. Método de ensayo.

Oficina Nacional de Normalización NC- 190:2002. Árido grueso. Determinación del índice de triturabilidad.

Oficina Nacional de Normalización NC-054-023. Materiales asfálticos. Penetración. Método de ensayo.

Oficina Nacional de Normalización NC-054-079. Materiales asfálticos. Determinación del peso específico. Método de ensayo.

Oficina Nacional de Normalización NC-177: 2002. Áridos. Determinación del porcentaje de huecos.

Oficina Nacional de Normalización NC-178:2002. Áridos. Análisis Granulométrico.

Oficina Nacional de Normalización NC-179:2002 Áridos. Determinación del contenido de partículas de arcillas. Método de ensayo.

Oficina Nacional de Normalización NC-181:2002 Áridos. Determinación del peso Volumétrico. Método de ensayo.

Oficina Nacional de Normalización NC-182:2002. Determinación del material más fino que el tamiz 0.074mm (No.200). Método de Ensayo.

Oficina Nacional de Normalización NC-186:2002. Arena. Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo.

Oficina Nacional de Normalización NC-187:2002. Árido grueso. Peso específico y absorción de agua.

Oficina Nacional de Normalización NC-188:2002. Árido grueso. Abrasión. Método de ensayo.

Oficina Nacional de Normalización NC-253:2005. Carreteras. Materiales bituminosos. Hormigón asfáltico. Especificaciones.

Oficina Nacional de Normalización NC-254:2005. Carreteras. Emulsión asfáltica aniónica.

Oficina Nacional de Normalización NC-261:2005. Determinación del contenido óptimo de asfalto empleando el equipo Marshall.

Oficina Nacional de Normalización NC-413:2005. Carreteras. Mezclas asfálticas. Contenido de asfalto por extracción.

Oficina Nacional de Normalización NC-759:2010. Áridos para mezclas asfálticas. Requisitos.

Oficina Nacional de Normalización NC-759:2010. Áridos para mezclas Asfálticas. Requisitos.

Oficina Nacional de Normalización NC-991:2013. Áridos. Términos y Definiciones.

SUÁREZ, J. E, 2010. Cinética de la molienda del rechazo del Cieno Carbonatado de la Empresa Pedro Sotto Alba, [ISMM] 46 p.

ROMERO, 2004. Caracterización de la actividad puzolánica de arcillas de la región de Cayo Guam para su utilización como material cementicio suplementario. Tesis de Ingeniería. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 25p.

SOLÍS, M. S. 2011: Valoración de las tobas vítreas y zeolitizadas de Guaramanao y San Andrés para su utilización como puzolana natural en la construcción. Roger Samuel Almenares (Tutor). Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico.

SARICIMEN, H.; MASLEHUDDIN, M. AL-MANA, A. y I.EID, O. 1992. Effect of field and laboratory curing on the durability characteristics of plain and pozzolan concretes. Cement and Concrete Composites. 14(3):169-177.

SHANNAG, M. JAMAL y YEGINOBALI, ASIM. 1995. Properties of pastes, mortars and concretes containing natural pozzolan. Cement and Concrete Research. 25(3): 647-657.

ANEXOS

Anexo 1: Planta de Asfalto del municipio Rafael Freyre.



Anexo 2: Depósito del desecho de coral en el puerto de Moa



Anexo 3: Ensayo Granulométrico



Anexo 4: Ensayo para determinar Peso volumétrico



Anexo 5: Torre de beneficio para el Cieno Carbonatado

