



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
CIVIL**

TESIS

**“PROPUESTA DE DISEÑO DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS CON ADICIONES DE PET”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

Autor:

Bach. NAVARRO JIMÉNEZ, José Martin.

Asesor:

Ing. RUÍZ SAAVEDRA, Nepton David.

Línea de Investigación:

**Ingeniería de Procesos – Ingeniería Vial y de
Transportes.**

Pimentel - Perú

2017

“PROPUESTA DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIONES DE PET”



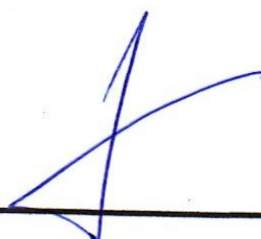
Ing. Omar Coronado Zulueta

Asesor Metodológico



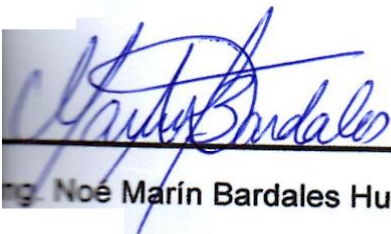
Ing. Ruiz Saavedra, Neptón-David

Asesor Especialista



MSc. Coronado Zuloeta, Omar

Presidente del jurado de tesis



Ing. Noé Marín Bardales Humberto

Secretario del jurado de tesis



Ing. Arriola Carrasco, Guillermo

Vocal

DEDICATORIA

Dedico esta TESIS a mi Dios Todopoderoso porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar y alcanzar mis metas. A mis abuelos y tíos, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento y motivación en mi formación Académica.

AGRADECIMIENTOS

Nélida Jiménez Barreto quien se ha ganado el derecho y el título de llamarse Madre en mi vida, quien siempre me acompañó en mis desvelos, en mis largas noches de estudio, en mis enfermedades, en mis tristezas y preocupaciones, jamás terminaré de agradecerte todo lo que has hecho por mí, este logro es también el tuyo, porque siempre tuve tu apoyo incondicional y por ende ten la plena seguridad que como tu hijo, hoy en adelante velaré por tu bienestar y comodidad. Nelita en ti encontré a una madre eterna que siempre está en las plegarias que elevo a Dios, al que solo le pido que te colme de bendiciones y me permita tenerte a mi lado siempre, disfrutando del fruto que tu sembraste en mí. Por eso más que un agradecimiento es un reconocimiento y Dios lo sabe y te bendice por el enorme sacrificio que has hecho por mí. Él te ama porque es vida, pero yo más porque daría la vida por ti.

Gilberto Jiménez Barreto, mi tío, él se ha ganado también el derecho y el título de llamarse Padre, el padre que nunca tuve y no me hizo falta, porque Dios bendijo mi vida, al ponerme en las manos de un hombre solidario, humano y muy bueno, al cual le tengo admiración, respeto y gratitud. A ti tío Gilberto quien no perdiste la confianza y esperanza en mi persona. Gracias por existir y darme ese amor de padre que creo no merecer pero con este logro espero atribuir a tu apoyo a lo largo de mi preparación Académica, a quien le debo la herencia más grande que una persona puede recibir y que nadie puede arrebatármela, gracias por darme el estudio, por darme las armas para enfrentarme a los golpes que da la vida.

RESUMEN

En los últimos 15 años el Perú ha impulsado una política favorable para la Construcción de Obras Viales a lo largo y ancho del territorio, habiéndose ejecutado más de 15,000 kilómetros de carreteras con pavimentos asfálticos, según reportes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Cabe resaltar que el Pavimento Urbano de una ciudad es una de las infraestructuras más utilizadas por la sociedad para desarrollar sus actividades económicas, sociales, culturales, etc. es por esto que el estado de conservación de los mismos es un fiel reflejo del nivel de desarrollo alcanzado por los pueblos, tal es así que cuando visitamos alguna ciudad o centro poblado y vemos que su infraestructura vial está deteriorada, inmediatamente lo relacionamos con atraso, caos y en muchos casos desgobierno. Sin embargo se sabe que un proyecto carretero engloba una cantidad de componentes, contempla desde estudios preliminares, el diseño geométrico hasta la colocación de la capa de rodadura, medidas de recuperación y mitigación ambiental. “Estas mezclas asfálticas pueden ser en caliente, lo más común, o en frío. “El proceso de fabricación de las mezclas asfálticas en caliente implican calentar el ligante y los agregados (excepto quizás el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra se realizará a una temperatura muy superior al ambiente”. Por consiguiente en el presente Proyecto se analizará la elaboración de la mezclas asfálticas con adiciones en PET, analizando la factibilidad, comportamiento y reacción del PET con el material de muestreo, dicho estudio tiene como finalidad proponer “el uso de una mejor alternativa que permita ampliar su vida útil y ahorrar considerables suma de dinero que se utilizan en su mejoramiento y rehabilitación”.

ABSTRACT

In the last 15 years, Peru has promoted a favorable policy for the construction of road works throughout the territory, having executed more than 15,000 kilometers of roads with asphalt pavements, according to reports from the Ministry of Transport and Communications. It should be noted that the Urban Pavement of a city is one of the infrastructures most used by society to develop its economic, social, cultural activities, etc. that is why the state of conservation of the same is a faithful reflection of the level of development reached by the people, such that when we visit a city or town and see that its road infrastructure is deteriorated, we immediately relate it to backwardness, chaos and in many cases misgovernment. However, it is known that a road project encompasses a number of components, ranging from preliminary studies, geometric design to the placement of the rolling layer, recovery measures and environmental mitigation. "These asphalt mixtures can be hot, most common, or cold. "The hot asphalt mix manufacturing process involves heating the binder and the aggregates (except perhaps the mineral input powder) and putting them on site will take place at a much higher temperature than the environment". Therefore, in the present Project, the elaboration of the asphalt mixes with PET additions will be analyzed, analyzing the feasibility, behavior and reaction of the PET with the sampling material, this study aims to propose "the use of a better alternative that allows to expand its useful life and save considerable sum of money that are used in its improvement and rehabilitation ".

| ÍNDICE | Página |
|---|---------------|
| RESUMEN | |
| LISTA DE TABLAS Y FIGURAS | x |
| LISTA DE FOTOGRAFÍAS | xiv |
| CAPITULO I: INTRODUCCIÓN | |
| 1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA | 17 |
| 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 21 |
| 1.3. OBJETIVOS | 21 |
| 1.3.1. Objetivo General | |
| 1.3.2. Objetivo Especifico | |
| 1.4. JUSTIFICACIÓN | 22 |
| 1.5. ANTECEDENTES | 23 |
| 1.6. MARCO TEÓRICO | 33 |
| 1.6.1. Mezclas Asfálticas | 33 |
| 1.6.2. Propiedades Físicas De La Mezcla Asfáltica | 36 |
| 1.6.3. Clasificación De Las Mezclas Asfálticas | 42 |
| 1.6.4. Consideraciones en el Diseño de la Mezcla Asfáltica | 44 |
| 1.6.5. Método de Diseño de Mezclas | 46 |
| 1.6.6. Historia Del PET | 49 |
| 1.6.7. Propiedades Del PET | 51 |
| 1.6.8. Desventajas Del PET | 52 |
| 1.6.9. Ventajas Del PET | 53 |
| 1.6.10. Características del PET | 53 |
| 1.6.11. Resistencia Química del PET | 54 |
| 1.6.12. Propiedades Físicas y Procesamiento Del PET | 54 |
| 1.7. DEFINICION DE LA TERMINOLOGIA | 62 |
| 1.7.1. Método Marshall | 62 |
| 1.7.2. Siglas | 63 |
| | vii |

CAPITULO II: MATERIAL Y MÉTODO

| | |
|---|-----------|
| 2.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN | 65 |
| 2.2. METODOS, TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN | 65 |
| 2.3. POBLACIÓN Y MUESTRA | 67 |
| 2.4. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN | 67 |
| 2.5. HIPÓTESIS | 68 |
| 2.6. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS: RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL (MTC – E 504 y ASTM D1559) | 68 |
| 2.7. INSTRUMENTO(S) PARA RECOLECCIÓN DE DATOS | 74 |

CAPITULO III: RESULTADOS

| | |
|---|------------|
| 3.1. ENSAYOS DE CALIDAD REALIZADAS A LOS AGREGADOS | 77 |
| 3.1.1. Análisis Granulométrico por Tamizado (MTC E 204 – 2000, ASTM C – 136) | 77 |
| 3.1.2. Limite Líquido, Limite Plástico e Índice Plasticidad (MTC E 110 – 2000, MTC E 111 – 2000 y ASTM D – 4318) | 81 |
| 3.1.3. Equivalente de Arena (NTP 339.146 y ASTM D – 2419) | 88 |
| 3.1.4. Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso y Fino (NTP 400.021, ASTM C-127 y NTP 400.022, ASTM C- 128 respectivamente) | 92 |
| 3.1.5. Peso Unitario Suelto y Compactado (NTP 400.017) | 104 |
| 3.1.6. Abrasión de los Ángeles al desgaste de los agregados (MTC E 207 – 2000, ASTM C – 131 y AASHTO T 96) | 111 |
| 3.1.7. Porcentaje de Caras Fracturadas (MTC E 210 – 2000, ASTM D 5821) | 114 |
| 3.1.8. Porcentaje de Partículas Chatas y Alargadas (NTP 400.040 ASTM D – 4791) | 115 |
| 3.1.9. Contenido de Sales Solubles Totales (MTC E 219 – 2000) | 116 |
| 3.1.10. Ensayo de Durabilidad (MTC E 209 – 2000, NTP 400.016 AASHTO T 104) | 119 |

| | |
|---|------------|
| 3.1.11. Impurezas Orgánicas en el Agregado FINO (MTC E 213 – 2000 ASTM C 40 y AASHTO T 21) | 124 |
| 3.1.1.2. Adherencia de Agregado Grueso y Fino (ASTM D 1664) | 125 |
| 3.1.1.3. Definición de las Dimensiones y Granulometría del PPR | 129 |
| 3.2. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS AGREGADOS | |
| 3.2.1. Análisis y Resultados | 149 |
| 3.2.2. Evaluación: Porc. de Arena+Piedra+PEN, sin PET | 150 |
| 3.2.3. Evaluación: Porc. de Arena+Piedra+PEN+ QUIMIBOM- PET | 152 |
| 3.2.4. Evaluación: Porc. de Arena+Piedra+PEN+ QUIMIBOM+ PET | 154 |
| 3.2.5. Porc. De Arena + Piedra + PEN 60/70 + Adición de PET | 156 |
| 3.2.6. Porcentaje Aditivo Mejorado QUIMIBOM SUIZA | 158 |
| | |
| CAPITULO IV: DISCUSIÓN | |
| | |
| 4.1. DISCUSÓN DE RESULTADOS | 158 |
| | |
| CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | |
| | |
| 5.1. CONCLUSIONES | 160 |
| 5.2. RECOMENDACIONES | 162 |
| | |
| REFERENCIAS | 163 |

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.6.2. Propiedades Físicas de la Mezcla Asfáltica

| | |
|---|-----------|
| A. Estabilidad Baja | 36 |
| B. Poca Durabilidad | 37 |
| C. Mezcla Demasiado Permeable | 38 |
| D. Mala Trabajabilidad | 39 |
| F. Mala Resistencia a la Fatiga | 40 |
| G. Poca Resistencia al Deslizamiento | 41 |

1.6.7. Propiedades del PET

| | |
|---------------------------------|-----------|
| - Datos Técnicas del PET | 51 |
|---------------------------------|-----------|

CAPÍTULO II: MATERIAL Y MÉTODO

| | |
|--|-----------|
| 2.4. Variables y Operacionalización | 67 |
|--|-----------|

CAPÍTULO iii: RESULTADOS

3.1.1. Análisis Granulométrico por Tamizado

| | |
|---|-----------|
| - Granulometría de Agregado Grueso | 78 |
| - Malla US STANDARD | 78 |
| - Granulometría de Agregado Fino | 79 |
| - Malla US STANDARD | 80 |
| - Resultados de Ensayos de Límite Líquido | 84 |
| - Resultados de Ensayos de Límite Plástico | 87 |

| | |
|--|------------|
| - Ensayo de Equivalencia de Arena | 89 |
| - Resultados de Equivalencia de Arena | 91 |
| - Datos de Peso Específico | 93 |
| - Peso Específico y Absorción de Agregado Grueso | 100 |
| - Peso Específico y Absorción de Agregado Fino | 102 |
| - Peso Unitario: Suelto Agregado Fino | 106 |
| - Peso Unitario: Suelto Agregado Grueso | 107 |
| - Peso Unitario: Suelto PET – Filamento | 108 |
| - Peso Unitario: Suelto PET (Malla N°08) – Fino | 109 |
| - Resultados de Peso Unitario | 110 |
| 3.1.6. Abrasión de los Ángeles al Desgaste de los Agregados | 112 |
| - Preparación de Muestras | 113 |
| 3.1.7. Porcentajes de Caras Fracturadas (MTC E 210 – 2000) | 114 |
| 3.1.9. Contenido de Sales Solubles Totales (MTC E 219 – 2000) | |
| - Extracción y Acondicionamiento de la Muestra | 119 |
| - Pesos Requeridos para Ensayo de Durabilidad | 123 |
| 3.1.13. Definición de las Dimensiones y Granulometría del PPR | |
| - Análisis Granulométrico por Tamizado de PPR en Filamento | 129 |
| - Malla US STANDAD | 130 |
| ANALISIS DE ENSAYOS TABLAS Y GRAFICOS | |
| - Agregado Grueso | 132 |
| - Análisis Granulométrico por Tamizado | 133 |
| - Agregado Fino | 134 |
| - Análisis Granulométrico por Tamizado | 135 |
| - Límite de Consistencia | 136 |
| - Equivalente de Arena | 137 |

| | |
|---|------------|
| - Peso Específico y Absorción de Agregados | 138 |
| - Peso Volumétrico | 139 |
| - Resistencia de Abrasión | 140 |
| - Partículas con una o dos Caras | 141 |
| - Determinación de la SAL | 142 |
| - Durabilidad | 143 |
| - Impurezas Orgánicas | 144 |
| - Adherencia | 145 |
| - Partículas Plásticas Reciclado – PET | 146 |

3.2.2. Evaluación: Porcentaje de Arena + Piedra + PEN 60/70 y sin Adición de PET

| | |
|--|------------|
| - Ensayo N° 01: PEN 60/70 al 4.5% | 148 |
| - Ensayo N° 02: PEN 60/70 al 5.0% | 148 |
| - Ensayo N° 03: PEN 60/70 al 5.5% | 148 |
| - Ensayo N° 04: PEN 60/70 al 6.0% | 149 |
| - Ensayo N° 05: PEN 60/70 al 6.5% | 149 |

3.2.3. Evaluación: Porcentaje de Arena + Piedra + PEN 60/70 + QUIMIBOM SUIZA, Sin Adición de PET.

| | |
|---|------------|
| - Ensayo N° 01: PEN 60/70 al 4.5% + Quimibom al 1.0% | 150 |
| - Ensayo N° 02: PEN 60/70 al 5.0% + Quimibom al 1.5% | 150 |
| - Ensayo N° 03: PEN 60/70 al 5.5% + Quimibom al 2.0% | 150 |
| - Ensayo N° 04: PEN 60/70 al 6.0% + Quimibom al 2.5% | 151 |
| - Ensayo N° 05: PEN 60/70 al 6.5% + Quimibom al 3.0% | 151 |

3.2.4. Evaluación: Porcentaje de Arena + Piedra + PEN 60/70 + QUIMIBOM SUIZA + Adición de PET.

| | |
|--|------------|
| - Ensayo N° 01: PEN 60/70 al 4.5% + Quimibom al 1.0%+ PET 0.5 % | 152 |
|--|------------|

- Ensayo N° 02: PEN 60/70 al 5.0% + Quimibom al 1.0%+ PET
1.0 % 152
- Ensayo N° 03: PEN 60/70 al 5.5% + Quimibom al 1.0%+ PET
1.5 % 152
- Ensayo N° 04: PEN 60/70 al 6.0% + Quimibom al 1.0%+ PET
2.0 % 153
- Ensayo N° 05: PEN 60/70 al 6.5% + Quimibom al 1.0%+ PET
2.5 % 153

3.2.5. Evaluación: Porcentaje de ARENA + Piedra + PEN 60/70 + Adición de PET

- Ensayo N° 01: PEN 60/70 al 4.5% + PET 0.3% 154
- Ensayo N° 02: PEN 60/70 al 5.0% + PET 0.3% 154
- Ensayo N° 03: PEN 60/70 al 5.5% + PET 0.3% 154
- Ensayo N° 04: PEN 60/70 al 6.0% + PET 0.3% 155
- Ensayo N° 05: PEN 60/70 al 6.5% + PET 0.3% 155

3.5.6. Porcentaje Aditivo Mejorado: QUIMIBOM SUIZA

- Ensayo N° 01: Aditivo al 1.0 % = PEN 60/70 al 4.5% 156
- Ensayo N° 02: Aditivo al 1.0 % = PEN 60/70 al 5.0% 156
- Ensayo N° 03: Aditivo al 1.0 % = PEN 60/70 al 5.5% 156
- Ensayo N° 04: Aditivo al 1.0 % = PEN 60/70 al 6.0% 156
- Ensayo N° 05: Aditivo al 1.0 % = PEN 60/70 al 6.5% 156

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1.1. Análisis Granulométrico por Tamizado

- Tamizado Agregado Grueso 79
- Tamizado Agregado Fino 80

3.1.2. Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad

- Procedimiento del Límite Líquido 82
- Procedimiento del Límite Plástico 85

3.1.3. Equivalencia de Arena

- Procedimiento 89
- Gravedad Específica Agregado Grueso 94
- Gravedad Específica Agregado Fino 97

3.1.5. Peso Unitario Suelto y Compactado

- Peso Unitario Suelto: Procedimiento 104
- Peso Unitario Compactado: Procedimiento 105

3.2. Análisis e Interpretación de los Agregados 147

3.2.1 Análisis y Resultados 147

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

La deformación permanente en sus diferentes formas es una de las fallas más importantes e incidentes en el desarrollo de la vida útil de los pavimentos asfálticos; por lo que se ha elaborado un estudio experimental dirigido a investigar nuevas técnicas y metodología que permita mejorar la calidad de vida útil de un pavimento, En el Perú, debido a su diversidad climática requiere de diseños de pavimentos y mezclas asfálticas con propiedades específicas para atender la necesidades de cada región. El conocimiento de las causas que originan la deformación permanente y de las condiciones climáticas en el Perú, permitirá anticiparse a un deterioro prematuro de los pavimentos asfálticos en el Perú, lo que incidirá en la economía del país.

A través del desarrollo del trabajo, se presenta una nueva propuesta que se espera poder mejorar la calidad y reducir los costos ante el diseño de Emulsión Asfálticas. También se desarrolla el concepto de la reología del asfalto, que depende directamente de la composición química del mismo, presentando las propiedades reológicas de los materiales asfálticos a través de la mecánica del medio continuo, así como de los parámetros reológicos aplicando la tecnología Superpave. Así mismo, se discute la influencia de la granulometría y demás características de los agregados en la deformación permanente, el diseño de la mezcla asfáltica, y aspectos constructivos, se acondiciona a obtener un resultado factible cuya propuesta es con Adiciones de PET, permita y garantice la viabilidad del diseño en la carpeta asfáltica.

CAPITULO I: PLAN DE INVESTIGACION

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA:

1.1.1. A NIVEL INTERNACIONAL:

Según la Empresa Británica British Broadcasting Corporation (CORPORACIÓN BRITÁNICA DE RADIODIFUSIÓN), a través del artículo “BBC MUNDO” (04 de enero 2016): menciona en su estudio vial que hay pocos símbolos tan notorios de las limitaciones del desarrollo latinoamericano como el mal estado de sus carreteras. Sin embargo en los países desarrollados y subdesarrollados hay una gran variedad en las condiciones de su infraestructura y no siempre es en función de su riqueza o pobreza relativa. Algunos países en la actualidad afrontan problemas notorios para mantener sus vías, prueba de ello tenemos Haití con 4.266 kilómetros de carreteras construidas, “Paraguay y Colombia cuya población se muestra insatisfecha con el estado de sus carreteras. En la lista del Banco Mundial, por su parte, naciones como Nicaragua y Bolivia son las peor valoradas en materia de infraestructura vial”.

COMENTARIO: Se nota que aun en los países desarrollados hay deficiencia en la Infraestructura Vial, quizás esto se deba a la tasa de crecimiento de la población, a un adecuado estudio de su suelo y su temperatura, o quizás se deba considerar un nuevo tipo de diseño para vehículos pesados, pero principalmente evaluar los costos.

1.1.2. A NIVEL NACIONAL:

Según el artículo Problema de la infraestructura vial en el Perú (24 de setiembre del 2015): señala que “esta problemática se caracteriza por su clara deficiencia en cuanto a calidad y cantidad porque como todos los peruanos sabemos a simple vista y expectativa todas nuestras autoridades no le prestan la atención necesaria”; “y este es el principal problema para el desarrollo a nivel de país ya que si se construyeran redes viales no solo daríamos comunicación a pueblos alejados si no también empleo tanto como para la construcción y mantenimiento de estas”. “Los objetivos están basados en cierta investigación en la cual vimos conveniente dar a conocer a la población por qué la falta de la infraestructura vial interfiere en el desarrollo del Perú”. “Según el Sector de Carreteras, las carreteras son la mejor inversión económica ya que ayudará al desarrollo del negocio” ⁽⁴⁾. “Adicionalmente, se estima que el gasto en carreteras representa entre un 5% y un 10% del total de gastos de un gobierno y puede alcanzar hasta el 20% del presupuesto nacional”.

La importancia de dar a conocer la problemática de la infraestructura vial en el Perú es hacer ver la realidad a la cual nos enfrentamos todos los habitantes porque como se sabe al carecer de estas no podremos llegar a un óptimo desarrollo nivel de país puesto que la infraestructura vial es primordial para el avance del Perú .

COMENTARIO: Muchos sabemos que para desarrollarnos como país de manera económica, social y cultural se debe invertir más en carreteras, pero pocos sabemos que cuando éstas se ejecutan, pasa a segundo plano la

ética profesional y se vuelve deficiente el organismo supervisor, careciendo de un bajo nivel de control técnico y presupuestal, es decir en algunos casos pasando por alto lo que dice el expediente técnico.

Obteniendo como respuesta finalmente carreteras en mal estado y con pocos periodos de vida útil, dando hincapié al famoso mantenimiento vial. Estoy convencido que la corrupción es una enfermedad incurable que no se podrá exterminar, menos en el Perú y si vemos con ojo de buitres, que las obras civiles a nivel de infraestructura vial es sinónimo de dinero, creo que a nivel de costo y lucro personal hay mucho por lo que se debe velar, díganme si no es verdad que sucede esto en obras.

1.1.3. A NIVEL LOCAL:

Según el artículo Av. Chiclayo fue construida como vía de alta transitabilidad y no de prevención, en el diario la república (22 de octubre del 2016): menciona que para el Colegio de Ingenieros de Lambayeque (CIL), la obra de la avenida Chiclayo, que ejecutó el Gobierno Regional de Lambayeque (GRL) en 53 millones 666 mil soles, tiene su primer error en su concepción; es decir, en la elaboración del proyecto técnico, pues se consideró la necesidad de una vía de transitabilidad rápida y no de prevención y seguridad social, lo que la convierte en una bomba de tiempo y en una problemática a nivel de infraestructura vial. De registrarse precipitaciones pluviales, esta estructura dejaría indefensos a más de 25 mil habitantes de la zona norte del distrito de José Leonardo Ortiz. Partiendo de esta premisa se sabe que las carreteras son obras Viales que permiten el crecimiento y fortalecimiento Social, Económico y Cultural de los

Pueblos. Permitiendo de esta manera mejorar la calidad de vida de los pueblos y sus habitantes. Es así que el Buen o Mal Estado de una Carretera refleja el crecimiento y la capacidad de gestión de sus Autoridades, permitiendo de esta manera asegurar una herramienta para afianzar la integración de mercados internos y externos. Por ende en cada uno de los 20 distritos de la provincia de Chiclayo se encuentran interrelacionados mediante ejes nacionales y departamentales que en un 60% se encuentran en mal estado y en una pésima conservación, sin contar con los caminos vecinales. Sin embargo la conservación y mejoramiento del tránsito en nuestro departamento las obras viales son de baja factibilidad en el periodo de vida útil. Sin embargo al ver deficiencia Técnica se considera posible optar por analizar nuevos elementos que aporten al Diseño Asfáltico más Rentable y de Bajo Costos.

COMENTARIO: Opino que Chiclayo no cuenta con un organismo supervisor activo y concienzudo que le permita a la población fiarse de un claro manejo en el control y ejecución de las obras o de ellas las estructuras Viales a nivel urbano y rural de nuestra ciudad, a eso sumémosle la falta de comunicación con la población a nivel peatonal y transitoria. Así mismo en nuestra ciudad de Chiclayo se puede notar que el reciclaje es una labor diaria y no rentable. Ante esta circunstancia surge la necesidad del reciclado coherente, el cual involucra la utilización de estos residuos como agregados alternativos en la fabricación de pavimentos asfálticos. Alrededor de un 75% del PET recuperado se usa para hacer fibras de alfombras, ropa y geotextiles. La mayor parte del 25% remanente es extruido en hojas para termoformado,

inyectado soplado en envases para productos no alimenticios, o compuesto para aplicaciones de moldeo.

Por ende el presente proyecto propone el uso de PPR denominado PET en la modificación de asfalto convirtiéndose en una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo influye la incorporación de partículas de PET en la calidad de una mezcla asfáltica evaluada en los parámetros de Estabilidad y Flujo?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General.

Elaborar una mezcla asfáltica en caliente con adiciones de PET, permita determinar la Estabilidad y Flujo para pavimentos flexibles, considerando muestras de Tres Tomas.

1.3.2 Objetivo Específico.

- a. Definir las dimensiones y granulometría de las partículas de polímeros PET para el diseño de la mezcla.
- b. Definir las proporciones de agregados y PPR a utilizar en el diseño de mezclas.
- c. Evaluar el porcentaje de variación de la estabilidad y flujo de esta nueva mezcla asfáltica con respecto a la tradicional.
- d. Evaluar el porcentaje de variación de cantidad de agregados fino y grueso respecto a la mezcla asfáltica tradicional.

- e. Establecer las condiciones y limitaciones de uso de PPR (PET) en la mezcla asfáltica.
- f. Evaluar el costo de producción de esta nueva mezcla asfáltica.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Técnica: Es de gran importancia ya que esta investigación experimental nos permitirá ampliar nuestro conocimiento en el campo de la construcción de Pavimentos, ya que aquí se pretende obtener resultados al 95%, que permita la mejora en la elaboración, colocación y desempeño de las mezclas asfálticas con adiciones de PET, donde buscaremos un alto grado de: Estabilidad, Durabilidad, Flexibilidad, Resistencia a la Fatiga, al Desplazamiento e Impermeabilidad.

Resultados que se traducen en el beneficio Técnico de su ejecución.

Económico: Esta Tesis Experimental busca minimizar la parte económica, basándose en el reciclaje de plástico, puesto que el PET en el mercado tiene mucha demanda, producción y a bajo costo, sin embargo el resultado que se busca es que el PET aporte y cumpla con las especificaciones dadas para su uso y por consiguiente esto favorecerá en los costos y rendimiento.

Social: Es de gran importancia ya que permitirá concientizar la cultura del reciclaje del Plástico en la sociedad y por ende se generará mayores oportunidades de trabajo que deberá traducirse en el beneficio de todos.

Ambiental: El uso del PET mejora, reestructura, aporta y beneficia el estudio de Impacto Ambiental, permitiendo de esta manera la conservación de nuestro ambiente y mejora de manera directa nuestra calidad de vida.

1.5. ANTECEDENTES

1.5.1 A NIVEL INTERNACIONAL.

“En América Latina, Estados Unidos y Europa existen diversos modelos de política legislativa que regulan la gestión de los residuos sólidos”.

En países de Europa (Alemania, Austria, Bélgica, España, Francia, Holanda, Italia, Suecia, Suiza y Reino Unido) se ha implementado la Directiva de Envases y Residuos de Envases que se basa en el principio de quien contamina paga, haciendo responsables a quienes integran alguna manera, la cadena del envase/embalaje: fabricantes de materias primas, transformadores, embotelladores/empaquetadores y distribuidores .

“Por otra parte, se ha permitido que este sector pueda crear sistemas privados y paralelos a los municipales de recolección diferenciada y recuperación de envases”.

“La legislación española promueve la elaboración de productos o utilización de envases que favorezcan la prevención en la generación de residuos y faciliten su reutilización, reciclado o valorización de sus residuos o permitan su eliminación de la forma menos perjudicial”.

“En Estados Unidos no se encuentra una legislación nacional que obligue a los Estados respecto a la gestión de los residuos sólidos”. “De hecho, la ley general deja a libertad de cada Estado y Municipalidades la forma que consideren más apropiada para gestionar los residuos”. “Hay, sin embargo, una ley federal que influyó notablemente para que se produjera un cambio en el manejo de los residuos sólidos urbanos, esta es el Acta de Recuperación y

Conservación de los Recursos”. “Dicha acta regula y limita el uso y cantidad de rellenos sanitarios, regula los parámetros para la incineración y promueve el reciclado”.

“También se ha aprobado la legislación que exige la identificación de los envases plásticos por tipo de resina según el código de la Sociedad de Industria del Plástico SPI”.

“Por su parte, Japón, cuenta desde abril de 1997 con la Ley de Reciclado de Envases. Esta ley promueve el reciclado de envases y embalajes provenientes de los residuos domésticos”. “Esta ley se ha aplicado paulatinamente, comenzó con botellas de PET, de vidrio y envases de papel. Desde abril del 2000 se viene recuperando el resto de materiales de plásticos y otros materiales”.

“La legislación venezolana pone énfasis en regular el precepto constitucional de protección del ambiente y la salud, así como el establecimiento del municipio como unidad mínima territorial descentralizada y encargada de la prestación del servicio de aseo urbano”.

En Nicaragua, aunque no existe una legislación específica, la normativa señala que la prestación del servicio de aseo es de competencia municipal, que es obligatoria la disposición final de los residuos y que el Estado deberá establecer incentivos fiscales, a fin de promover la inversión en el reciclaje de residuos domésticos y comerciales para su industrialización y reutilización .

“En el caso de Uruguay, las municipalidades desarrollan actividades de promoción del segregado y reciclaje, superando el esquema normativo nacional”.

México se ha onstituido en un país líder, ya que ha fijado el esquema de regulación en la gestión de residuos distinta y ambientalmente más avanzada de América Latina y el Caribe con la ley para la Promoción del Principio de la Economía de la Recirculación y la Eliminación ambientalmente aceptada de desechos (27.09.94) con vigencia a partir del 07 de octubre de 1996 .

“Esta ley establece la economía de círculos de reutilización; de esta manera, lo residuos innecesarios no deberían producirse, en principio”. “La producción, los productos y su consumo deben ser transformados de manera que los residuos inevitables generados en su transcurso sean recirculados en la producción como materias reciclables o utilizadas en la elaboración de nuevos productos”. “Solo los residuos no apropiados para una economía de reutilización deben ser excluidos de los círculos de reutilización y conducidos a una eliminación ambientalmente aceptada (tratamiento o disposición final)”. “Así, México opta por priorizar explícitamente, y en ese orden, la minimización, el reciclaje y la eliminación, fijando en el Estado la obligación de establecer las condiciones básicas para el cumplimiento de estos principios”.

La política ambiental nacional de Colombia en relación con el sector de residuos sólidos señala que se promoverá un programa nacional de manejo de residuos sólidos y reciclaje, que comprometa la participación de los municipios, al sector productivo y la sociedad civil, para considerar toda la cadena de producción, distribución y disposición final de residuos, incluyendo rellenos sanitarios y sistemas para el manejo de residuos peligrosos .

“Además, respalda a las empresas comunitarias de aseo y reciclaje en los programas de recolección y reciclaje de residuos”. “Bolivia fomenta la recolección selectiva de residuos sólidos, así como la utilización de residuos reciclados en la fabricación de productos”. “Si bien la actividad del reciclaje se daba en varias ciudades de manera informal, con la Ley de Residuos Sólidos se pretende formalizarla y potenciarla”. “Chile y Ecuador promueven la minimización, el segregado y el reciclaje de residuos sólidos, por iniciativa municipal o privada”.

1.5.2 A NIVEL NACIONAL.

La Ley General de Residuos Sólidos (Ley N° 27314 del 21 de julio del 2000) establece derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, para asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos, sanitarios y ambientalmente adecuados, con sujeción a los principios de minimización, prevención de riesgos ambientales y protección de la salud y el bienestar de la persona humana .

La ley define como residuos sólidos aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone, o está obligado a disponer, en virtud de lo establecido en la normatividad nacional o de los riesgos que causan a la salud y el ambiente, para ser manejados a través de un sistema que incluya, las siguientes operaciones o procesos: minimización de residuos, segregación en la fuente, reaprovechamiento, almacenamiento, recolección, comercialización, transporte, tratamiento, transferencia y disposición final .

“La ley busca entre otras cosas”:

- “Establecer principios, lineamientos y pautas para el manejo integrado de los distintos tipos de residuos sólidos, considerando todas sus etapas de manejo, desde la generación hasta su disposición final”.
- “Establecer sistemas apropiados de auditoria y fiscalización de los servicios de manejo de los residuos sólidos”.
- “Orientar la gestión de los residuos hacia la consolidación de estrategias de minimización y prevención de los impactos ambientales significativos”.
- “Incentivar la participación de sector privado y de la sociedad civil en el mejoramiento del manejo de los residuos sólidos”.

“En el campo del reciclaje de residuos, la ley establece algunos lineamientos que procuran un manejo integral y sostenible de los residuos sólidos”:

- “Desarrollar y usar tecnologías, métodos, prácticas y procesos de producción y comercialización que favorezcan la minimización o reaprovechamiento de los residuos sólidos y su manejo adecuado”.
- “Fomentar el reaprovechamiento de los residuos sólidos y la adopción complementaria de prácticas de tratamiento y adecuada disposición final”.
- “Promover el manejo selectivo de los residuos sólidos”.

“Además, la Ley General de Residuos Sólidos establece algunos lineamientos importantes para la inversión privada y formalización de las personas y entidades que intervienen en el manejo de los residuos sólidos” “Otras normas que tratan acerca de la gestión de los residuos sólidos y el reciclaje son”:

El Código de Medio Ambiente y los Recursos Naturales (DL N° 613 – 08/09/90) en su artículo N° 106 establece que, el Estado fomenta y estimula el reciclaje de desechos domésticos para su industrialización y reutilización, mediante procedimientos sanitarios que apruebe la autoridad competente .⁽⁵⁾

“La Ley General de Salud (Ley N° 26842), establece que los residuos que proceden de establecimientos donde se fabriquen, formulen, envasen o manipulen sustancias y productos peligrosos deben ser sometidos al tratamiento y disposición que señalen las normas correspondientes”.

“De conformidad con esta norma, el Ministerio de Salud tiene como misión definir políticas y normar los aspectos sanitarios en el manejo de los residuos sólidos, así como supervisar y controlar acciones con los gobiernos locales y regionales”.

Es en este sentido que el Reglamento de Aseo Urbano (DS N° 033-81-SA) le encarga vigilar la calidad del servicio de limpieza pública, aprobar los proyectos de disposición final de residuos sólidos y establecer mecanismos de coordinación para reservar áreas destinadas a la disposición final de residuos sólidos .

La Ley Orgánica de Municipalidades (Ley N° 23853) establece que corresponderá a las municipalidades normar y controlar las actividades relacionadas con el saneamiento ambiental, ejecutar el servicio de limpieza pública por si mismas o a través de concesiones, y ubicar las áreas para la acumulación de basura y/o el aprovechamiento industrial de residuos .

“Esta disposición se complementa con el Reglamento de Acondicionamiento Territorial, Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (DS N° 007-85-VC) que

señala que los municipios harán cumplir las normas e impondrán sanciones cuando se disponga inadecuadamente de los residuos sólidos”.

“En el Perú la gestión y manejo de los residuos es regulada, fiscalizada, promovida y sancionada por las siguientes autoridades”:

El Consejo Nacional del Ambiente (CONAM) es la autoridad competente para coordinar, promover y concertar el adecuado cumplimiento y aplicación de la Ley General de Residuos Sólidos con las autoridades sectoriales y municipales, siendo específicamente competente para: promover la aplicación de los planes integrales de gestión ambiental de los residuos sólidos en las distintas ciudades del país; incluir en el Informe del Estado del Ambiente en el Perú el análisis referido a la gestión y el manejo de los residuos sólidos e incorporar en el Sistema Nacional de Información Ambiental, datos referidos a la gestión y manejo de los residuos sólidos .

“Para los aspectos de gestión de residuos, la Autoridad de Salud a nivel nacional es la Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud”; “a nivel regional son las Direcciones Regionales, en Lima y Callao las Direcciones de Salud. Le compete a esta autoridad, entre otros”⁽⁵⁾:

- “Regular los aspectos técnico-sanitarios del manejo de los residuos sólidos, incluyendo los correspondientes a las actividades de reciclaje, recuperación y reutilización”.
- “Regular el manejo de residuos sólidos de establecimientos de atención de salud, así como los generados en campañas sanitarias”.

- “Administrar y mantener actualizado el registro de las empresas prestadoras de servicios de residuos sólidos, de las empresas comercializadoras y de los auditores de residuos”.

“De esta manera, las competencias del CONAM referidas a promoción, información y concertación, se distancian de las autoridades de salud referidas a actividades técnico sanitarias y de registro de operadores”.

“Para que una empresa sea registrada como empresa comercializadora de residuos sólidos (EC-RS), debe presentar ante la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) los siguientes documentos”:

1. “Solicitud dirigida al Director General de DIGESA con carácter de declaración jurada”.
2. “Ficha de registro (otorgada por DIGESA)”.
3. “Copia de la constancia de inscripción de la empresa en los registros públicos o copia de la escritura de constitución de la empresa”.
4. “Memoria descriptiva de las actividades de comercialización realizadas detallando el manejo específico de los residuos sólidos, según tipo y características particulares, procesamiento, reúso, cartera de clientes, entre otros, firmado por el ingeniero responsable”.
5. “Planos de distribución de la infraestructura de residuos sólidos”.
6. “Pago de derecho de trámite (20% de UIT)”.

De acuerdo con la Ley General de Residuos Sólidos, la gestión y manejo de los residuos de origen industrial, agropecuario, agroindustrial o de instalaciones especiales que se realicen en el ámbito de las áreas

productivas e instalaciones industriales o especiales utilizadas para el desarrollo de dichas actividades, son reguladas, fiscalizadas y sancionadas por los ministerios u organismos regulatorios o de fiscalización correspondientes .

Así, por ejemplo:

El Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, a través de la Dirección General de Medio Ambiente del Sub Sector Vivienda y Construcción regulan la gestión de los residuos sólidos de la actividad de la construcción y el transporte de residuos peligrosos .

1.5.3 A NIVEL LOCAL.

“La gestión de los residuos sólidos de responsabilidad municipal en el país debe ser coordinada y concertada, especialmente en las zonas urbanas, en armonía con las acciones de las autoridades sectoriales y las políticas de desarrollo regional” ⁽⁵⁾. “Las municipalidades provinciales están obligadas a realizar las acciones necesarias para la debida implementación de esta disposición” ⁽⁵⁾. “La autoridad municipal, provincial y distrital es responsable de la gestión y manejo de los residuos de origen domiciliario, comercial y de las actividades que generen residuos similares, correspondiéndoles”:

- “Regular y fiscalizar el manejo y la prestación de los servicios de los residuos sólidos de su jurisdicción”.
- “Adoptar medidas que conduzcan a promover la constitución de empresas prestadoras de servicios de residuos sólidos, así como incentiva y priorizar la prestación privada de los servicios” ⁽⁵⁾.

- “Promover y garantizar servicios de residuos sólidos administrados bajo principios, criterios y contabilidad de costos de carácter empresarial”.

La gestión de los residuos sólidos, se rige bajo la Ley Orgánica de Municipalidades y la Ley General de Residuos Sólidos, las cuales otorgan a las municipalidades distritales y provinciales las facultades para regular y fiscalizar la prestación de los servicios de manejo de residuos domiciliarios, comerciales y de aquellas actividades que generen residuos similares a éstos de carácter no peligroso, así como la limpieza pública en sus respectivas jurisdicciones .

“Asimismo, por esta ley, la municipalidad es responsable de las plantas de transferencia, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos”.

En virtud a las leyes mencionadas, en el año 1999, la Municipalidad Provincial de Piura, llevó a cabo el estudio denominado Plan operacional: Recolección de residuos sólidos de Piura que permitió determinar la población, producción per cápita y producción total de residuos sólidos por urbanizaciones o asentamientos urbanos pertenecientes a cada zona .

“Asimismo, incluye procedimientos que deben ser cumplidos por los empleados de recolección y normas para la seguridad en el trabajo”.

De igual manera, en el año 2003 se elaboró el proyecto piloto Mejoramiento de la capacidad instalada en el proceso de limpieza pública mediante la clasificación de los residuos sólidos en la ciudad de Piura el cual consiste en la segregación de los residuos sólidos desde la

fuentes de generación motivando la participación de los usuarios o demandantes del servicio de limpieza pública .

1.6 MARCO TEORICO

1.6.1 Mezclas Asfálticas.

SEGUN ALEJANDRO PADILLA RODRÍGUEZ EN SU MANUAL MEZCLAS ASFALTICAS CAP. III: Menciona que “las mezclas asfálticas, 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 que se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan”.

“Las Mezclas Asfálticas se utilizan en la construcción de Carreteras, Aeropuertos, Pavimentos Industriales, entre otros. Sin olvidar que se utilizan en las capas inferiores de los firmes para tráfico pesado intenso”. “Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico”. “Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto”.

La función de mezclas asfálticas es proporcionar una superficie de rodadura cómoda, segura y económica a los usuarios, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir suficientemente las

cargas debidas al tráfico a la explanada para que sean soportadas por ésta .

Las cualidades funcionales del firme son: La adherencia del neumático al firme, las proyecciones de agua en tiempo de lluvia, el desgaste de los neumáticos, el ruido en el exterior y en el interior del vehículo, la comodidad y estabilidad en marcha, las cargas dinámicas del tráfico, la resistencia a la rodadura (consumo de carburante) .

COMENTARIO: Coincido con el autor cuando refiere a las características que debe cumplir la mezcla asfáltica ante su uso, es decir su proporcionalidad ante su diseño va depender de la factibilidad y el periodo de vida útil para la cual se destina, considerando que todo pavimento se hace con el fin de mejorar una calidad de vida social, laboral, cultura, económica entre otros, todo esto bajo la premisa de acondicionar un buen servicio sostenible a la ciudadanía en general.

SEGÚN MEDINA RAMÍREZ VÍCTOR EN SU TESIS “APLICACIONES DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS Y LOS ASFALTOS DILUIDOS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO UTILIZANDO AGREGADOS DEL RÍO AGUAYTÍA - UCAYALI”:

Menciona: “La American Society for Testig and Materials (ASTM) define al asfalto como un material ligante de color marrón oscuro a negro, constituido, principalmente, por betunes que pueden ser naturales u obtenidos por refinación del petróleo”. “El asfalto se presenta en proporciones variables en la mayoría de los petróleos crudos”. “El betún según ASTM, es una sustancia ligante (sólida, semisólida o viscosa) oscura o negra, natural o artificial,

compuesta principalmente por hidrocarburos de alto peso molecular, como los asfaltos, alquitranes, breas y asfálticas” .

“El asfalto es un material negro, cementante, que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando), a temperaturas ambientes normales”. “Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual le permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de mezcla en caliente”.

“El asfalto usado en pavimentación, generalmente llamado cemento asfáltico, es un material viscoso (espeso) y pegajoso”. “Se adhiere fácilmente a las partículas del agregado y por tanto es un excelente cemento para unir partículas del agregado en un pavimento de mezcla caliente”. “El cemento asfáltico es un excelente material impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los álcalis (bases) o las sales”. “Esto significa que un pavimento de cemento asfáltico construido adecuadamente es impermeable y resistente a muchos tipos de daños químicos”.

COMENTARIO: El asfalto como vemos es un material de características y comportamiento variable, pero básicamente su función radica en la importancia en su uso, elaboración y colocación, ya que para obtener un pavimento sostenible y viable se debe considerar de manera técnica sus especificaciones, así como el estudio mecánico de los agregados a usar y por último verificar de acuerdo al tipo de diseño la proporcionalidad del aditivo o adherente a usar.

1.6.2 Propiedades Físicas De La Mezcla Asfáltica.

SEGÚN ALEJANDRO PADILLA RODRIGUEZ:

a) **Estabilidad:** “Es la capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito. Depende de la fricción y de la cohesión interna”.

“La fricción interna está relacionada con las características del agregado tales como forma y textura superficial”. “La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto”.

“En términos generales entre más angular sea la forma de las partículas del agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla” en Tabla N° 1.

Estabilidad Baja

| Causas | Efectos |
|---|--|
| Exceso de asfalto en la mezcla. | Ondulaciones, ahuellamiento, y afloramiento o exudación. |
| Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla. | Baja resistencia durante la compactación y posteriormente dificultad para la compactación. |
| Agregado redondeado sin o con pocas superficies trituradas. | Ahuellamiento y canalización. |

Tabla N° 1

SEGÚN ALEJANDRO PADILLA RODRIGUEZ:

b) Durabilidad: “La durabilidad de un pavimento asfáltico es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto y separación de las películas de asfalto”⁽⁶⁾. “Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito o una combinación de ambos”. “Una graduación densa de agregado firme, duro y resistente a la separación, contribuye a la durabilidad del pavimento”. “Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas de agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla”, en Tabla N° 2.

Poca Durabilidad

| Causas | Efectos |
|---|---|
| Bajo contenido de asfaltos | Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado. |
| Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación. | Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración. |
| Agregados susceptibles al agua (hidrofilicos) | Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado o desintegrado. |

Tabla N° 2

SEGÚN ALEJANDRO PADILLA RODRIGUEZ:

- c) **Impermeabilidad:** “Es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior o a través de él”. “El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de vacíos, sin importar si está o no conectados y por el exceso que tienen a la superficie del pavimento” en Tabla N° 3.

Mezcla Demasiado Permeable

| Causas | Efectos |
|--|---|
| Bajo contenido de asfalto | Las películas delgadas de asfalto causaran, tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla. |
| Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño. | El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación y desintegración de la mezcla. |
| Compactación inadecuada. | Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a infiltración de agua y poca estabilidad. |

Tabla N° 3

SEGÚN ALEJANDRO PADILLA RODRIGUEZ:

d) Trabajabilidad: “Es la facilidad con que una mezcla puede ser colocada y compactada” ⁽⁶⁾. “Las mezclas gruesas tienen tendencia a segregarse (separar) durante su manejo y también pueden ser difíciles de compactar” ⁽⁶⁾. “La trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades considerables de mezcla, como por ejemplo alrededor de tapas de alcantarillado, curvas pronunciadas y otros obstáculos similares”.

Mala Trabajabilidad

| Causas | Efectos |
|------------------------------------|---|
| Demasiado agregado grueso | Puede ser difícil de compactar. |
| Temperatura muy baja de mezcla. | Mezcla poco durable, superficie áspera, difícil de compactar. |
| Demasiada arena de tamaño medio. | La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda. |
| Bajo contenido de relleno mineral. | Mezcla tierna, altamente permeable. |
| Alto contenido de relleno mineral. | Mezcla muy viscosa, difícil de manejar, poco durable. |

Tabla N° 4

- e) 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)”.
- f) Resistencia a la Fatiga.** – “Es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Así mismo un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga” como podemos ver en la Tabla N° 5.

Mala Resistencia a la Fatiga.

| Causas | Efectos |
|----------------------------------|--|
| Bajo contenido de asfalto. | Agrietamiento por fatiga. |
| Vacíos altos de diseño. | Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga. |
| Falla de compactación. | Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga. |
| Espesor inadecuado de pavimento. | Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga. |

Tabla N° 5

SEGÚN ALEJANDRO PADILLA RODRIGUEZ:

g) 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 está 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 la 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 y una velocidad de 65 km/hr”. “Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una resistencia lisa”. “La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de graduación abierta y con tamaño máximo de 9.5 mm”.

Poca Resistencia Al Deslizamiento

| Causas | Efectos |
|---|---|
| Exceso de asfalto. | Exudación, poca resistencia al deslizamiento. |
| Agregado mal graduado o con mala textura. | Pavimento liso, posibilidad de hidroplaneo. |
| Agregado pulido en la mezcla. | Poca resistencia al deslizamiento. |

Tabla N° 6

1.6.3 Clasificación De Las Mezclas Asfálticas.

SEGÚN ALEJANDRO PADILLA RODRIGUEZ: “Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones pueden ser diversas”:

A. Por Fracciones de Agregado Pétreo Empleado.

“Masilla asfáltica: Polvo mineral más ligante”.

“Mortero asfáltico: Agregado fino más masilla”.

“Concreto asfáltico: Agregado grueso más mortero”.

“Macadam asfáltico: Agregado grueso más ligante asfáltico”.

B. Por la Temperatura de Puesta en Obra.

Mezclas Asfálticas en Caliente: “Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos”. “La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores al ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente”.

Mezclas Asfálticas en Frío: “El ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados) y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente”.

C. Por la Proporción de Vacíos en la Mezcla Asfáltica.

“Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia del paso de las cargas y de las variaciones térmicas”.

- “**Mezclas Cerradas / Densas:** su proporción vacíos no supera el 6%”.
- “**Mezclas Semi – Cerradas o Semi – Densas:** La proporción de vacíos está entre el 6% y el 10%”.
- “**Mezclas Abiertas:** La proporción de vacíos supera el 12%”.
- “**Mezclas Porosas o Drenantes:** La proporción de vacíos es superior al 20%”.

D. Por el Tamaño Máximo del Agregado Pétreo.

- “**Mezclas Gruesas:** Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm”.
- “**Mezclas Finas:** También llamadas microaglomerados, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico”.

E. Por la Estructura del Agregado Pétreo.

“**Mezclas con Esqueleto Mineral:** Poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable”. “Ejemplo, las mezclas abiertas y los que genéricamente se denominan concretos asfálticos, aunque también una parte de la resistencia de estos últimos, se debe a la masilla”.

“Mezclas sin Esqueleto Mineral: No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas”.

F. Por la Granulometría.

“Mezclas Continuas: Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el uso granulométrico”.

“Mezclas Discontinuas: Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el uso granulométrico”.

1.6.4 Consideraciones en el Diseño de la Mezcla Asfáltica.

SEGÚN ALEJANDRO PADILLA RODRIGUEZ: Las fases que debemos considerar ante el diseño de una mezcla son las siguientes:

- a) “Análisis de las condiciones en las que va a trabajar la mezcla: tráfico, tipo de Infraestructura (carretera, vía urbana, aeropuerto, etc.), la capa de la que se trata (Rodadura, intermedia o base) y espesor, naturaleza de las capas subyacentes, intensidad del tráfico pesado, clima, etc. Asimismo, hay que distinguir si se trata de un firme nuevo o de una rehabilitación”.
- b) “Determinación de las propiedades fundamentales que ha de tener la mezcla, dadas las condiciones en las que ha de trabajar. Debe establecerse la resistencia a las deformaciones plásticas o la flexibilidad, entre otras”.

- c) “Elección del tipo de mezcla que mejor se adapte a los requerimientos planteados, incorporando en este análisis las consideraciones económicas o de puesta en obra que haya que considerar”.
- d) “Materiales disponibles, elección de los agregados pétreos, los cuales deben cumplir con determinadas especificaciones, pero que en general serán los disponibles en un radio limitado y, por lo tanto, a un costo razonable. Asimismo, hay que elegir el polvo mineral de aportación”.
- e) “Elección del tipo de ligante: asfalto, asfalto modificado, emulsión asfáltica, el costo es siempre un factor muy relevante”.
- f) “Dosificación o determinación del contenido óptimo de ligante según un proceso que debe adaptarse al tipo de mezcla, la cual debe hacerse para distintas combinaciones de las fracciones disponibles del agregado pétreo, de manera que las granulometrías conjuntas analizadas estén dentro de un huso previamente seleccionado”.
- g) “Otros factores a tener en cuenta en el diseño y selección de una mezcla asfáltica son los siguientes: Exigencias de seguridad vial, Estructura del firme, Técnicas de Diseño y Ejecución, Sitio de construcción del pavimento (topografía, temperatura, terreno, periodo de lluvias trazado de la vía, entre otros), Condiciones de drenaje”.

1.6.5 Método de Diseño de Mezclas.

SEGÚN ALEJANDRO PADILLA RODRIGUEZ: “Las mezclas asfálticas están formadas por un material pétreo bien graduado y cemento asfáltico como ligante”. “Se elaboran en una planta que calienta el material pétreo a una temperatura de 140 ó 150 °C y el cemento asfáltico a una temperatura de 110 a 130 °C”.

“Las mezclas terminadas se extienden en capas uniformes en el espesor y ancho requeridos, para luego ser compactadas a temperaturas superiores a los 90 °C. Un pavimento de concreto asfáltico debe cumplir los siguientes objetivos principales”:

- a. “Suficiente estabilidad en la mezcla como para satisfacer las exigencias del servicio y las demandas del tránsito sin distorsiones o desplazamientos”.
- b. “Suficiente asfalto para asegurar la obtención de un pavimento durable, que resulte del recubrimiento completo de las partículas de agregado pétreo, impermeabilizando y ligando las mismas entre sí, bajo una compactación adecuada”.
- c. “Suficiente trabajabilidad como para permitir una eficiente operación constructiva en la elaboración de la mezcla y su compactación”.
- d. “Suficientes vacíos en la mezcla compactada, para proveer una reserva que impida, al producirse una pequeña compactación adicional, afloramientos de asfalto y pérdidas de estabilidad”.

“El diseño de mezclas asfálticas en caliente se realiza mediante el Método de Marshall, el cual basado en el empleo de ensayos mecánicos”:

MÉTODO MARSHALL

El Método de dosificación Marshall desarrollado por el Ing. Bruce Marshall, inicialmente fue utilizado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército Norteamericano, actualmente es el método más utilizado para las mezclas asfálticas en caliente, el cual está basado en el empleo de ensayos mecánicos .

SEGÚN TESIS DE CHAVEZ QUIÑONES, JORGE Y HERNAN APOLO,

EDDIE: “El desarrollo del método implica la confección de una serie de probetas normalizadas de 2 ½ de altura y 4 de diámetro suelen utilizarse al menos cinco contenidos de cemento asfáltico, variando entre 1% y 0.5%”. “Las probetas se preparan de acuerdo a un procedimiento de calentamiento, mezclado y compactación”.

La compactación del mineral dentro de los moldes se realiza a través del Martillo Marshall, que es un dispositivo de acero, formado por una base plana y circular de 3 7/8 de diámetro, equipado con un peso de 10 lb (4.54 kg) y construido de modo de obtener una altura de caída 18 .

“Las probetas se compactan con 85 golpes según el tipo de tránsito de diseño”.

SEGÚN ALEJANDRO PADILLA RODRIGUEZ: “El criterio para conseguir una mezcla satisfactoria está basado en requisitos mínimos de ESTABILIDAD, FLUENCIA, DENSIDAD Y PORCENTAJE DE VACÍOS”.

“Es decir el método determina el procedimiento para realizar los ensayos de estabilidad y fluencia de mezclas asfálticas preparadas en caliente, utilizando el equipo Marshall, determina características físicas de las mezclas y analiza

los parámetros que definen el contenido de asfalto”. “La estabilidad se determina empleando el principio de corte en compresión semi-confinada, sometiendo a la muestra a esfuerzos de compresión diametral a una temperatura de 60 °C (140 °F)”. “La aplicación de esfuerzos y la rotura de las muestras se consiguen con un dispositivo especialmente proyectado para las pruebas de estabilidad”. “El valor de estabilidad representa la resistencia estructural de la mezcla compactada y está afectada principalmente por el contenido de asfalto, la composición granulométrica y el tipo de agregado”. “El valor de estabilidad es un índice de la calidad del agregado. Además, la mezcla debe tener la fluidez necesaria para que pueda compactarse a la densidad exigida y producir una textura superficial adecuada”. “El valor del Flujo representa la deformación producida en el sentido del diámetro del espécimen antes de que se produzca su fractura”. “Este valor es un indicador de la tendencia para alcanzar una condición plástica y consecuentemente de la resistencia que ofrecerá la carpeta asfáltica a deformarse bajo la acción de las cargas que por ella transiten”.

Ahuellamiento.

“Deformación permanente, se define como la falla causada por el efecto de esfuerzos verticales de compresión en la capa asfáltica de un pavimento, manifestada en ahuellamiento bajo la superficie de carga de las llantas”.

1.6.6 Historia Del PET

SEGÚN GONZÁLEZ MARCOS - MARÍA P - LÓPEZ FONSECA:

“Fue producido por primera vez en 1941 por los científicos británicos Whinfield y Dickson, quienes lo patentaron como polímero para la fabricación de fibras”. “Se debe recordar que su país estaba en plena guerra y existía una apremiante necesidad de buscar sustitutos para el algodón proveniente de Egipto”. “A partir de 1946 se empezó a utilizar industrialmente como fibra y su uso textil ha proseguido hasta el presente. En 1952 se comenzó a emplear en forma de filme para envasar alimentos”. “Pero la aplicación que le significó su principal mercado fue en envases rígidos, a partir de 1976”. “A partir de 1976 se comenzó a usar el PET para la fabricación de envases ligeros, transparentes y resistentes principalmente para bebidas, sin embargo, el PET ha tenido un desarrollo extraordinario para empaques”. “Esta diversificación tan importante ha originado que el PET haya experimentado un gran crecimiento en su consumo y que siga siendo el material de embalaje que actualmente presenta las mayores expectativas de crecimiento a nivel mundial”. “Desde principios de los años 2000 se utiliza también para el envasado de cerveza”.

Sin embargo, se propone este material involucra a la tecnología de pavimentos flexibles con adición de aditivos de polímeros PET, adicionados a las mezclas asfálticas modificadas, este tipo de estudio no ha sido una técnica ampliamente estudiada, ni utilizada en el mundo .

“Sin embargo, es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles”⁽⁹⁾. “Algunas compañías manufacturan el PET bajo diferentes marcas comerciales, por ejemplo, en los Estados Unidos y Gran Bretaña usan los nombres de **Mylar** y **Melinex**”. “A pesar de ser un plástico reciclable su fabricación involucra sustancias tóxicas, metales pesados, químicos, irritantes y pigmentos, los cuales al final del proceso de producción permanecen en el aire, lo cual es perjudicial para el medio ambiente”. “Aun así, Greenpeace ha declarado que el PET es menos perjudicial para la salud que el PVC u otros plásticos”. “Por ende, con la adición de este polímero al asfalto se piensa modificar las propiedades mecánicas, químicas y reológicas de las mezclas asfálticas”. “Cuando se utiliza esta tecnología se pretende mejorar el comportamiento que experimentan las mezclas tradicionales cuando son sometidas”.

COMENTARIO: En este estudio se propone incorporar a la mezcla asfáltica en caliente del tipo plastomérico o el aditivo denominado Quimibom, utilizando un polímero de partículas de plástico (PET) obtenido del reciclaje de botellas plásticas utilizado para mezclar el aglomerado en caliente. Este aditivo se escogió debido principalmente a su fácil obtención, preparación y generalmente se deduce y se buscará incrementar la resistencia mecánica de las mezclas a altas temperaturas de acuerdo a nuestra zona.

1.6.7 Propiedades Del PET

Presenta las propiedades más relevantes:

- “Alta resistencia al desgaste y corrosión”.

- “Alta resistencia al desgaste”.
- “Muy buen coeficiente de deslizamiento”.
- “Buena resistencia química”.
- “Muy buena barrera a CO₂, aceptable barrera a O₂ y humedad”.
- “Alta rigidez y dureza”.
- “Altísima resistencia a los esfuerzos permanentes”.

Datos Técnicos Del PET

Tabla N°07

| Propiedad | Unidad | Valor |
|-------------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Densidad | g/cm ³ | 1,34 – 1.39 |
| Resistencia a la Tensión | MPa | 59 – 72 |
| Resistencia a la Compresión | MPa | 76 – 128 |
| Resistencia al Impacto, Izod | J/mm | 0.01 – 0.04 |
| Dureza | -- | Rockwell M94 – M101 |
| Limite Elástico | % | 50 - 150 |
| Dilatación Térmica | 10 ⁻⁴ / °C | 15.2 – 24 |
| Resistencia al Calor | °C | 80 – 120 |
| Resistencia Dieléctrica | V/mm | 13780 – 15750 |
| Constante Dieléctrica (60 Hz) | -- | 3.65 |
| Absorción de Agua (24 h) | % | 0.02 |
| Velocidad de Combustión | mm/min | Consumo lento |
| Efecto luz solar | -- | Se decolora ligeramente |

| | | |
|-----------------------|----|----------------------|
| Calidad de mecanizado | -- | Excelente |
| Calidad óptica | -- | Transparente a opaco |
| Temperatura de fusión | °C | 244 – 254 |

Fuente: Industria Del Plástico - Richardson & Lokensgard

1.6.8 Desventajas Del PET

TESIS GONZÁLEZ - VELASCO:

Secado: “Todo poliéster tiene que ser secado a fin de evitar pérdida de propiedades. La humedad del polímero al ingresar al proceso debe ser de máximo 0.005%”.

Costo de equipamiento: “Los equipos de inyección soplado con biorientación suponen una buena amortización en función de gran producción”. “En extrusión soplado se pueden utilizar equipos convencionales de PVC, teniendo más versatilidad en la producción de diferentes tamaños y formas”. “Esto quiere decir que equipar dicho sistema involucra un costo elevado y rentable”.

Temperatura: “Los poliésteres no mantienen buenas propiedades cuando se les somete a temperaturas superiores a los 70 grados. Se han logrado mejoras modificando los equipos para permitir llenado en caliente”.

Excepción: “el PET cristalizado (opaco) tiene buena resistencia a temperaturas de hasta 230° C”.

Intemperie: “No se aconseja el uso permanente en intemperie”.

1.6.9 Ventajas Del PET

SEGÚN GONZÁLEZ VELASCO:

Propiedades Únicas: “Claridad, brillo, transparencia, barrera a gases u aromas, impacto, termoformabilidad, fácil de imprimir con tintas, permite cocción en microondas”.

Costo / Performance: “El precio del PET ha sufrido menos fluctuaciones que el de otros polímeros como PVC-PP-LDPE-GPPS en los últimos 5 años”.

Disponibilidad: “Hoy se produce PET en Sur y Norteamérica, Europa, Asia y Sudáfrica”.

Reciclado: “El PET puede ser reciclado dando lugar al material conocido como RPET”, “lamentablemente el RPET no puede emplearse para producir envases para la industria alimenticia debido a que las temperaturas implicadas en el proceso no son lo suficientemente altas como para asegura la esterilización del producto”.

1.6.10. Características del PET.

SEGÚN PADILLA: “**Biorientación:** Permite lograr propiedades mecánicas y de barrera con optimización de espesores”.

Cristalización: “Permite lograr resistencia térmica para utilizar bandejas termoformadas en hornos a elevadas temperaturas de cocción”.

Esterilización: “El PET resiste esterilización química con óxido de etileno y radiación gamma”

1.6.11. Resistencia Química del PET.

SEGÚN GONZÁLEZ MARCOS - MARÍA P - LÓPEZ FONSECA:

Buena resistencia a: “Grasas y aceites presentes en alimentos, soluciones diluidas de ácidos minerales, álcalis, sales, jabones, hidrocarburos alifáticos y alcoholes”.

Poca resistencia a: “Solventes halogenados, aromáticos, cetonas de bajo peso molecular y bases”.

1.6.12 Propiedades Físicas y Procesamiento Del PET

SEGÚN GONZÁLEZ MARCOS - MARÍA P - LÓPEZ FONSECA: “El PET presenta una estructura molecular con regularidad estructural necesaria para tener un potencial de cristalización”. “Debido a la presencia de los anillos aromáticos en su cadena, el PET presenta una moderada flexibilidad molecular que se refleja en que su **Temperatura de Transición Vítrea** se encuentra en torno a los 70 – 80°C”. “Esto hace que su capacidad para cristalizar sea controlada por las condiciones de enfriamiento”.

*Así, la **densidad** del PET puede variar desde 1,33 - 1,34 g/cm³ para un material amorfo hasta aproximadamente 1,45 - 1,51g/cm³ para el caso semi cristalino, éste último particularmente dependiente y*

*proporcional al contenido de **dietilénglicol** (DEG) que puede generarse durante el proceso de síntesis .*

“El **parámetro de solubilidad** del PET es aproximadamente de 21,8 MPa^{1/2} lo que lo haría sensible, en mayor o menor grado, a algunos solventes como cetonas, clorados y alcoholes de 4 u 8 carbonos”; “pero en el caso de los productos semi cristalinos, sólo solventes donadores de protones son capaces de interactuar con los grupos ésteres en forma efectiva”. “Aunque es un polímero polar, sus propiedades como aislante eléctrico a temperatura ambiente son buenas a altas frecuencias, debido a que el material, al estar por debajo de T_g, tiene restricciones en la orientación de dipolos”.

“Si una muestra amorfa es calentada cerca de 80°C se induce la cristalización en frío que genera una considerable distorsión dimensional, contracción y opacidad, por lo que limita la temperatura de servicio”.

*Otro factor a tener en cuenta durante el procesamiento es su carácter higroscópico y que en su estado fundido presenta una alta sensibilidad a la **degradación hidrolítica** de ahí que sea práctica común en la industria realizar ciclos previos de secado a temperaturas mayores a su T_g (entre 140-160°C) por períodos de hasta 6 horas antes de cualquier etapa de procesamiento .*

*Otro factor que limitó en sus inicios el moldeo por inyección fue su inherente **baja viscosidad** del fundido que es altamente sensible a*

la temperatura, por lo que las temperaturas de procesamiento se encuentran muy cercanas a su T_m (entre 270-290°C), para evitar el goteo en la boquilla .

“Parte de este inconveniente ha sido solucionado al diseñar los equipos tal que incorporen sistemas que controlen el flujo libre a través de la boquilla”.

Los primeros productos moldeados correspondieron a piezas en las cuales se promovió la cristalización en forma controlada por la adición de agentes nucleantes y/o empleando altas temperaturas de molde cercanas a los 130-140°C, lo que conduce a una alta rigidez, resistencia al rallado superficial y opacidad, pudiéndose emplear a temperatura entre su T_g y T_m sin problemas de distorsión dimensional .

“Sin embargo, el interés por este tipo de productos se mantuvo limitado hasta que se reconoció la utilidad del refuerzo con la fibra de vidrio, obteniéndose PET semicristalinos destinados principalmente para aplicaciones eléctricas y electrónicas”.

“Por otro lado, si se desean productos transparentes obtenidos por inyección, es necesario que la temperatura del molde sea menor a 50C y no usar grados que contengan agentes nucleantes”. “Sin embargo, a pesar de las buenas propiedades ópticas y mayor tenacidad respecto al caso semicristalino, pierde resistencia química por lo que ha sido limitado

o desplazado el uso de estos productos por otras opciones de procesamiento”.

“El interés definitivo por el uso de PET surgió al descubrir la utilidad de obtener productos biorientados en combinación con la introducción de la copolimerización con ácido isoftálico o 1,4-ciclohexano-dimetanol”. “Tal combinación permite obtener productos que presentan mejoras en transparencia, tenacidad y propiedades barreras, características esenciales de las botellas y algunos laminados y películas de PET destinados a envases y embalajes”.

“En este caso se propicia un proceso de cristalización por deformación, que genera una morfología cristalina orientada, muy diferente a la obtenida por un simple calentamiento de una muestra amorfa o durante el enfriamiento en el moldeo por inyección”. “Si bien la cristalinidad puede alcanzar un 40%, la morfología desarrollada permite conservar la transparencia del PET, mientras que son favorecidas tanto la rigidez y tenacidad del sistema, al igual que las propiedades barreras”. “Por lo general, estos productos presentan una densidad entre 1,38 y 1,39 g/cm³”.

Degradación Del PET

“El Tereftalato de Polietileno (PET) puede ser degradado mediante diferentes métodos: proceso químico y el proceso natural”. “Siendo el químico, el método que puede *hacer un reúso del material para un nuevo producto, obtención de combustibles entre otras cosas. Esto es debido*

a que puede ser modificada su estructura molecular". "El proceso natural, puede tardar una gran cantidad de tiempo debido al tiempo de vida del PET, puede llegar a degradarse en un aproximado de 500 años o más".

"Para realizar la degradación química del PET se deben tomar en cuenta primeramente las propiedades físicas y mecánicas del desecho de PET".

Degradación Mediante Proceso Químico

- "Degradación por medio de fluido supercrítico: Este tipo de degradación se hace mediante el uso de disolventes en condiciones supercríticas". "Los disolventes más comunes para la degradación del material son *tolueno, acetona, benceno, xileno y etil-benceno, usados a temperaturas entre 583-643 K y presiones de 4 – 6 MPa*".

"Mediante este proceso se obtiene estireno y otros aromáticos con tiempos de reacción muy cortos, esto es debido a las buenas transferencias de masa y calor que consiguen". "La gran desventaja de esta opción de degradación se encuentra en" los costos del proceso y en que los productos obtenidos son básicamente los mismos que en craqueo térmico y catalítico".

- "Poliestireno disuelto en corrientes petroquímicas: el polímero es disuelto en una corriente de aceite de ciclo ligero; se realiza el craqueo térmico en reactor de contacto corto a una temperatura de 723-823 K". "Al realizarse este proceso se observa que existe una

sinergia en el rendimiento de proceso al realizar la mezcla, pero se forma un alto contenido de aromáticos que son aportados a la degradación del poliestireno restringe el uso del producto como combustible”.

- “Hidrocraqueo: Se procesa aceite proveniente de pirólisis de plásticos, con el fin de obtener un producto que cumpla con las propiedades de un combustible”. “Este proceso se lleva a cabo en un reactor tubular continuo, usando como Catalizador (desambiguación) /Catálisis óxido de aluminio a temperaturas de 623-723 K”. “Mediante este proceso se obtienen conversiones de Poliestireno hasta el 98% mediante un proceso térmico y el 88% sobre Pt/Al₂O₃, durante un tiempo de reacción de 240 minutos a 685 K y 6 MPa de H₂”. “La disminución en la conversión del proceso catalítico frente al térmico se encuentra relacionada con que el Pt/Al₂O₃ promueve reacciones de terminación, posiblemente por hidrogenación de radicales”.

“La ventaja al hacer uso de catalizadores en el proceso radica en la selectividad, ya que al hacer uso de estos se reduce significativamente la producción de oligómeros”. “Mientras que el Pt/Al₂O₃ realiza simultáneamente la degradación del poliestireno y la hidrogenación de productos con el objetivo de reducir el contenido de aromáticos en el producto final”; “pero cabe destacar que inhibe parcialmente la degradación del polímero al compararla con el proceso térmico”.

- "Hidrólisis alcalina: son triturados los desechos de PET con una solución de NaOH, la mezcla de la reacción se somete a calor hasta que alcance el punto de ebullición, al finalizar se enfría y los residuos son filtrados". "El filtro alcalino obtenido es neutralizado con un diluido de ácido hidro - clorhídrico, el producto final se filtra mediante succión y es deshidratado a una temperatura de 40°C por un tiempo de 24 horas en presencia de P2Cl5".
- "La utilización de agentes catalizadores en la hidrólisis alcalina de PET son mejores que las técnicas que no hacen uso de catalizadores".

Degradación natural del PET

Foto degradación: "la luz ultravioleta del sol provee energía de activación requerida para iniciar la incorporación de oxígeno en el polímero". "Este proceso hace que el plástico se rompa y fragmente en trozos cada vez más pequeños hasta que las cadenas poliméricas alcancen un peso molecular suficientemente bajo para que pueda ser metabolizada por los microorganismos". "Cabe destacar que este proceso es muy lento y puede tardar 50 años o más para que el plástico se degrade completamente".

Degradación de Termo- Oxidación: "en este mecanismo de degradación el oxígeno maneja un rol fundamental para que se pueda llevar a cabo este proceso ya que depende en gran medida de la disponibilidad de oxígeno". "Ya que, en presencia de oxígeno, las

reacciones de escisión de la cadena dominan sobre las reacciones de ampliación moleculares”. “Los radicales alquilo reaccionan rápidamente con el oxígeno y forma radicales piróxilo, lo que se puede hacer abstracción de hidrógeno inter o intramolecular para formar hidroperóxidos poliméricos”. “La Termo-oxidación y la oxidación de los productos de polietileno se llevan a cabo a un rango de temperaturas de 150-250°C, es decir, las condiciones de procesamiento, han sido objeto de varios estudios”. “El proceso y los mecanismos de degradación a altas temperaturas difieren de los mecanismos que tienen lugar durante envejecimiento a largo plazo a temperaturas moderadas”. “Una temperatura más alta significa reacciones más rápidas y mayor cantidad de radicales libres”. “La disponibilidad de oxígeno llegará a ser limitada debido a que la velocidad de difusión y solubilidad de oxígeno es demasiado baja”.

Mientras que, a menor concentración de oxígeno, la probabilidad de que dos radicales alquilo vecinos sobrevivirá el tiempo suficiente para reaccionar con cada uno otro en lugar de reaccionar con el oxígeno es más alta y las reacciones de ampliación moleculares estarán conduciendo a una ampliación dominante de la distribución del peso molecular. A temperaturas de reacción más bajas, que son las reales durante la degradación ambiental, la degradación, así como los tiempos de reacción son mucho más largos, el número de radicales es más pequeño y el oxígeno tiene más tiempo para difundir a los sitios de reacción .

1.7 DEFINICIÓN DE LA TERMINOLOGÍA

1.7.1 Método Marshall.

“El Método de dosificación Marshall desarrollado por el Ing. Bruce Marshall, inicialmente fue utilizado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército Norteamericano”, “actualmente es el método más utilizado para las mezclas en caliente, el cual está basado en el empleo de ensayos mecánicos”. “El criterio para conseguir una mezcla satisfactoria está basado en requisitos mínimos de estabilidad, fluencia, densidad y porcentaje de vacíos”.

“Este método determina el procedimiento para realizar los ensayos de estabilidad y fluencia de mezclas asfálticas preparadas en caliente, utilizando el equipo Marshall, determina características físicas de las mezclas y analiza los parámetros que definen el contenido de asfalto”. “La estabilidad se determina empleando el principio de corte en compresión semi - confinada, sometiendo a la muestra a esfuerzos de compresión diametral a una temperatura de 60 °C (140 °F)”. “La aplicación de esfuerzos y la rotura de las muestras se consiguen con un dispositivo especialmente proyectado para las pruebas de estabilidad”.

“El valor de estabilidad representa la resistencia estructural de la mezcla compactada y está afectada principalmente por el contenido de asfalto, la composición granulométrica y el tipo de agregado”. “El valor de estabilidad es un índice de la calidad del agregado. Además, la mezcla debe tener la fluidez necesaria para que pueda compactarse a la densidad exigida y producir una textura superficial adecuada”. “El valor del Flujo representa la deformación

producida en el sentido del diámetro del espécimen antes de que se produzca su fractura”⁽⁶⁾. “Este valor es un indicador de la tendencia para alcanzar una condición plástica y consecuentemente de la resistencia que ofrecerá la carpeta asfáltica a deformarse bajo la acción de las cargas que por ella transiten”.

1.7.2 Siglas.

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials (Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras y Transporte)

ASTM: American Society for testing Materials (sociedad Americana para Pruebas y Materiales).

MAC: Mezcla Asfáltica en Caliente.

MTC: Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

NTP: Norma Técnica Peruana.

PAM: Peso de Agregados de la Mezcla Asfáltica.

PPR: Partículas de Plásticos Reciclado.

CAPITULO II

MATERIAL

Y

MÉTODO

CAPITULO II: MATERIAL Y MÉTODO

2.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente proyecto se clasifica en una investigación tecnológica, debido a que se plantea el procedimiento para el diseño de una mezcla asfáltica utilizando partículas de Botellas Plásticas recicladas.

Dicho diseño de **Investigación es Experimental**, ya que el objetivo es incorporar las partículas de plásticas conocidas como PET proveniente de las botellas

plásticas recicladas, en una mezcla asfáltica y evaluarlo respecto a una mezcla tradicional, siguiendo los parámetros establecidos en las normas nacionales.

Diseño de Mezclas con Método de Marshall.

- a. Estabilidad.
- b. Flujo de la mezcla Asfáltica.
- c. Cantidad Óptima de Agregados.

2.2. MÉTODOS, TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

SEGÚN TESIS DE CHAVEZ QUIÑONES, JORGE Y HERNAN APOLO, EDDIE:

“Dicho proyecto es de tipo experimental, las técnicas son los procedimientos e instrumentos que utilizamos para acceder al conocimiento e instrumentos que utilizamos para acceder al conocimiento”.

Es decir para lograr un buen diseño de mezclas asfálticas, debemos realizar una serie de ENSAYOS DE LABORATORIO tanto para los agregados empleados, como para la mezcla asfáltica propiamente dicha, que garanticen el cumplimiento de los parámetros establecidos por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones .

“En los ensayos de laboratorio controlamos variables que manipulan a otras y se observamos el fenómeno siendo las mezclas asfálticas en cliente el objeto de estudio, los ensayos realizados fueron”:

- a. “Análisis Granulométrico por Tamizado, atendiendo a las normas: NTP 339.128 y ASTM D422”.
- b. “Limite Líquido, Limite Plástico e Índice Plástico, atendiendo a las normas: NTP 339.129 y ASTM D – 4318”.

- c. “Equivalente de arena, atendiendo a las normas: NTP 339.146 y ASTM D – 2419”.
- d. “Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso, atendiendo a las normas: NTP 400.021 y ASTM C – 127”.
- e. “Peso Específico y Absorción del Agregado Fino, atendiendo a las normas: NTP 400.022 y ASTM C – 128”.
- f. “Peso Unitario Suelto y Compactado, atendiendo a la norma: NTP 400.017”.
- g. “Abrasión de los Ángeles al desgaste de los Agregados, atendiendo a las normas: NTP 400.040 y ASTM D – 4791”.
- h. “Contenido de Sales Solubles Totales, atendiendo a la norma: NTP 339.152”.
- i. “Resistencia de Mezclas Bituminosas Empleando El Aparato MARSHALL, atendiendo a las normas: MTC – E504 y ASTM D1559”.

2.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

Se ensayarán briquetas para 03 tipos de tránsito (liviano, medio y pesado) considerando que las muestras son de 2 canteras distintas LA VIÑA Y TRES TOMAS) (arena y piedra) y se empleara Partículas de Plásticos (PET) y en combinación de los dos, en cantidades de 1%, 2% y 3% respecto al peso total de agregados.

2.4. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN.

Tabla N° 08

| | NOMBRE | VALOR | INDICADORES | TECNICA O RECOLECCION DE DATOS |
|-------------------------------|---|------------------------|----------------------------|---|
| VARIABLE DEPENDIENTE | Ensayos | Técnico y Presupuestal | Observado en RNC | Análisis en Laboratorio USS |
| | Estabilidad y Flujo De Mezcla Asfáltica en Caliente | Técnico y Presupuestal | Según datos de laboratorio | Análisis de Temperatura, Granulometría y Tipo de aditivo mejorado |
| | Factores de Colocación de Asfalto | Técnico y Presupuestal | Análisis de documentos | Porcentaje de Compactación, Ciclos, Neumatización, zona y clima |
| | El PET | Proporciones de Diseño | Análisis | Datos Porcentuales |
| VARIABLE INDEPENDIENTE | El Tráfico vehicular menor | Social | Datos observados | Tipo de Circulación en Zona |

Fuente: Chavez Quiñones, Jorge Y Herna Apolo, Eddie

2.5. HIPÓTESIS

TESIS DE CHAVEZ QUIÑONES, JORGE Y HERNAN APOLO, EDDIE: “Ante la problemática de la cantidad de Plástico en desuso y la contaminación que genera en el medio ambiente, se considera reutilizar dichos residuos en el manejo de su reciclaje para su reutilización en el diseño de pavimentos flexibles, basados en investigaciones predecesoras, planteamos la siguiente hipótesis”. “La incorporación de PPR (Partículas de Plásticos Reciclado) influye de manera positiva en la Estabilidad y Flujo de la mezcla asfáltica en caliente mejorándolos en un porcentaje determinado”.

2.6. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS: RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

(MTC – E 504 y ASTM D1559)

TESIS DE CHAVEZ QUIÑONES, JORGE Y HERNAN APOLO, EDDIE: “Se presentará un resumen con las principales consideraciones a tener en cuenta para aplicar este método de diseño”.

Resumen Del Método

TESIS DE CHAVEZ QUIÑONES, JORGE Y HERNAN APOLO, EDDIE: “El Procedimiento consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de 101.6 mm (4) de diámetro y 63.5 mm (2 ½) de altura, preparadas como se describe en esta norma, rompiéndolas posteriormente en la prensa Marshall y determinando su estabilidad y deformación”.

“Si se desean conocer los porcentajes de vacíos de las mezclas así fabricadas, se determinarán previamente los pesos específicos de los materiales empleados y de las probetas compactadas antes del ensayo de rotura, de acuerdo con las normas correspondientes”.

“El procedimiento se inicia con la preparación de probetas de ensayo para lo cual los materiales propuestos deben cumplir con las especificaciones de granulometría y demás, fijadas para el proyecto”.

“Además deberá determinarse previamente el peso específico del asfalto y los análisis de densidad vacíos”.

Para determinar el contenido óptimo de asfalto para una gradación de agregados dados o preparados, se deberá elaborar una serie de probetas con

distintos porcentajes de asfalto, de tal manera que al graficar los valores obtenidos después de ser ensayadas, permitan determinar ese valor óptimo .

Preparación de Probetas

- **Número de Probetas:** “Para una gradación particular del agregado, original o mezclada se preparará una serie de probetas con diferentes contenidos de asfalto (con incrementos de 0.5% en peso entre ellos)”, “de tal manera que los resultados se puedan graficar en curvas que indiquen un valor óptimo definido, con puntos de cada lado de este valor. Como mínimo se preparan tres probetas para cada contenido y preferiblemente cinco”.

- **Cantidad de Materiales:** “Un diseño con seis contenidos de asfalto, necesitara entonces por lo menos dieciocho (18) probetas”. “Para cada probeta se necesitan aproximadamente 1.2 kg de agregados dada será entonces de 23 kilos (50 lb) y alrededor de 4 lt (1galon) de cemento asfáltico, asfalto líquido o de alquitrán”.

- **Preparación de las Mezclas:** En bandejas taradas separadas para cada muestra se pesaran sucesivamente las cantidades de cada porción de agregados, previamente de acuerdo con la gradación necesaria para la fabricación de cada probeta, de tal manera que esta resulte con una altura de 63.5 + mm.se calentaran los aireados en una plancha de calentamiento o en el horno a una temperatura de 28 °C (25 °F) por encima de la temperatura de 28 °C (50 °F) por encima de la temperatura de compactación, cuando son mezclas con cemento asfáltico o alquitranes a 14°C (25°F) por encima para mezclas con asfalto líquido .

Se mezclan en seco los agregados y se forma a continuación un cráter en su centro, se añade la cantidad requerida de asfalto, debiendo estar ambos materiales en ese instante a temperaturas comprendidas dentro de los límites establecidos para el proceso de mezcla .

“A continuación se mezclan los materiales preferiblemente con mezcladora mecánica o en su defecto a mano con espátula” ⁽⁸⁾. “De todas formas, este proceso de mezclado deberá realizarse lo más rápidamente posible hasta obtener una mezcla completa y homogénea. El asfalto no deberá permanecer a la temperatura de mezcla por más de una hora”.

Compactación de las Probetas

- “Simultáneamente con la preparación de la mezcla, el conjunto de collar, placa de base y la cara del martillo de compactación” ⁽⁸⁾, “se limpian y calientan en un baño de agua o en el horno a una temperatura comprendida entre 93 °C y 149°C (200 °F y 300°F)”.
- “Se monta el conjunto de compactación en la base y se sujeta rígidamente mediante el soporte de fijación. Se coloca un papel de filtro en el fondo del molde antes de colocar la mezcla”.
- “Colóquese toda la mezcla recién fabricada en el molde, golpéese vigorosamente con una espátula o palustre caliente, 15 veces alrededor del perímetro y 10 sobre el interior”. “Quítese el collar y alísese la superficie hasta obtener una forma ligeramente redondeada. La temperatura de la mezcla inmediatamente antes de la computación deberá hallarse dentro de los límites de temperatura de compactación establecidos”.

- “Vuélvase a poner el collar y colóquese el conjunto en el soporte y sobre el pedestal de compactación”. “Aplíquense 35, 50, ó 75 golpes según se especifique (si no se indica, úsense 50 golpes para asfalto liquido aplíquense 75 golpes), de acuerdo con el tránsito de diseño, empleando para el martillo de compactación una caída libre de 457 mm”.

- “Manténgase el eje del martillo perpendicular a la base del molde durante la compactación”. “Retírense la placa de base y el collar e inviértase, vuélvase a montar el molde y aplíquese el mismo número de golpes a la cara invertida de la muestra”. “Para el caso de asfaltos líquidos, el ensayo no se debe efectuar sino pasadas 18 horas luego de la compactación”. “Si la muestra debe ser almacenada por más de 24 horas antes del ensayo, se debe proteger de la exposición al aire mediante sellado en un recipiente cerrado a prueba de aire”.

Nota: cuando el ensayo se realice con mezclas anteriormente fabricadas y frías, se comenzará calentando en estufa a una temperatura de unos 30°C (54 °F) inferior a la especificada para la mezcla, la cantidad necesaria para obtener por cuarteo las porciones se calentarán entonces a la temperatura especificada para la compactación durante 1 hora, realizándose luego la compactación de la forma general. Cuando las probetas se fabriquen con mezclas tomadas en obra, el proceso general de compactación será el mismo que se describe en este procedimiento sea la adecuada al tipo de ligante empleado. No deberá emplearse una mezcla que haya sido recalentada más de una vez .

“Después de la compactación, retírese la base y déjese enfriar la muestra al aire hasta que no se produzca ninguna deformación cuando se la saque del

molde”⁽⁸⁾. “Pueden utilizarse ventiladores de mesa cuando se desee un enfriamiento más rápido, pero en ningún caso agua a menos que se coloque la muestra en una bolsa plástica”⁽⁸⁾. “Sáquese la muestra del molde por medio de un gato u otro dispositivo apropiado, luego colóquese en una superficie plana, lisa. Generalmente se dejan entrar la muestra durante la noche”.

Ensayo de Estabilidad y Flujo

- “Colóquense las muestras preparadas con cemento asfáltico o con alquitrán a la temperatura especificada para inmersión en un baño de agua durante 30 o 40 minutos o en el horno durante 2 horas”. “Manténgase en el baño o el horno a $60^{\circ}\text{C} + 1^{\circ}\text{C}$ ($140^{\circ}\text{F} + 1.8^{\circ}\text{F}$) para las muestras de cemento asfáltico y al $37.80^{\circ}\text{C} + 1^{\circ}\text{C}$ ”⁽⁸⁾. “Colóquense las muestras preparadas con asfalto líquido a la temperatura especificada en la cámara aire por un minuto de 2 horas. Manténgase la temperatura de la cámara a $25^{\circ}\text{C} + 1^{\circ}\text{C}$ ($77^{\circ}\text{F} + 1.8^{\circ}\text{F}$)”.

- “Límpiese perfectamente las barras guías y las superficies interiores del molde de ensayo de la ejecución de este, y lubríquense las barras guías de tal manera que el segmento superior de la mordaza se deslice libremente”. “La temperatura del molde de ensayo deberá mantenerse entre 21.1°C y 37.8°C (70°F y 100°F) empleando un baño de agua, horno o cámara de aire y colóquese centrada en el segmento inferior de la mordaza”, “se monta el segmento superior con el medidor de deformación y el conjunto se sitúa en la prensa”.

- “Colóquense el medidor de flujo, en su posición de uso sobre una de las barras – guía y ajústese a cero, mientras se mantiene firmemente contra el segmento superior de la mordaza”.

- “Aplíquese entonces la carga sobre la probeta con una prensa o gato de carga con cabeza de diámetro mínimo de 50.8 mm a una razón de deformación constante de 50.8 mm por minuto”, “hasta que ocurra la falla, es decir cuando se alcanza la máxima carga y luego disminuye según se lea en el dial respectivo”. “Anótese este valor máximo de carga y si es el caso, hágase la conversión este valor total en newtons (libras) que se necesite para producir la falla de la muestra se registrar como su valor de estabilidad Marshall”.

- “Mientras se efectúa el ensayo de estabilidad deberá mantenerse el medidor de flujo firmemente en posición sobre la barra – guía, libérese cuando comience a decrecer la carga y anotar la lectura”. “Este será el valor del *flujo* para la muestra, expresado en 0.25 mm. Por ejemplo, si la muestra se deformó 3.8 mm el valor del flujo será de 15”. “Este valor expresa la disminución de diámetro que sufre la probeta entre la carga cero y el instante de la rotura”. “El procedimiento completo a partir de la sacad de la probeta del baño de agua deberá realizarse en un periodo no mayor de 30 segundos”.

2.7. INSTRUMENTO(OS) UTILIZADO(S) PARA RECOLECCIÓN DE DATOS

Aparatos y Materiales Necesarios

EQUIPO UTILIZADO

- Juego de tamices ASTM
- Balanza
- Cepillo
- Horno
- Taras
- Cuarteador
- Bandejas Metálicas.
- 1 juegos de mallas para agregado fino (3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100, N° 200, Fondo y Tapa),
- 1 juegos de mallas para agregado grueso (3/8, 1/2, 3/4, 1, 1 ½, 2, Fondo y Tapa).
- 2 hornos eléctricos para secado de muestras.
- 2 juegos de Proctor – T - 99 (Relación Densidad – Humedad).
- 1 juego de Proctor – T – 180 (Relación Densidad – Humedad).
- 2 juego de cono de Abrams, para revenimiento del concreto.
- Moldes para probetas: El molde deberá tener un diámetro interior de 101.6 mm (4) y altura aproximada de 76.2 mm (3).
- Extractor de probetas.
- Martillo de compactación.
- Pedestal de compactación.
- Soporte para molde.
- Mordaza y medidor de deformación.
- Prensa.
- Medidor de la estabilidad.

- Elementos (horno o placa) de calefacción.
- Mezcladora.
- Tamices.
- Termómetros blindados. De 10°C a 232°C (50 °F a 450 °F).

CAPITULO III

RESULTADOS

CAPITULO III: PLAN DE ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

Previo al diseño de la mezcla se debe evaluar a los agregados, constatando que ellos cumplan con las especificaciones de calidad requeridos para un óptimo desempeño. En el siguiente apartado presentamos los resultados de la evaluación de los agregados:

3.1. ENSAYOS DE CALIDAD REALIZADOS A LOS AGREGADOS

3.1.1. Análisis Granulométrico por Tamizado (MTC E 204 – 2000, ASTM C 136)

La granulometría es una de las propiedades más importantes de los agregados, esta afecta tanto a las propiedades como al diseño de la MAC.

Los tamaños típicos usados en el análisis granulométrico para mezclas asfálticas en caliente son:

2", 1 ½ ", 1", ¾ ", ½ ", 3/8", N° 4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200.

Dimensiones: (50.8 mm, 38.0 mm, 25.4 mm, 19.0 mm, 12.5 mm, 9.5 mm, 4.75 mm, 2.36 mm, 1.18 mm, 0.6 mm, 0.3 mm, 0.15 mm y 0.075 mm, respectivamente.

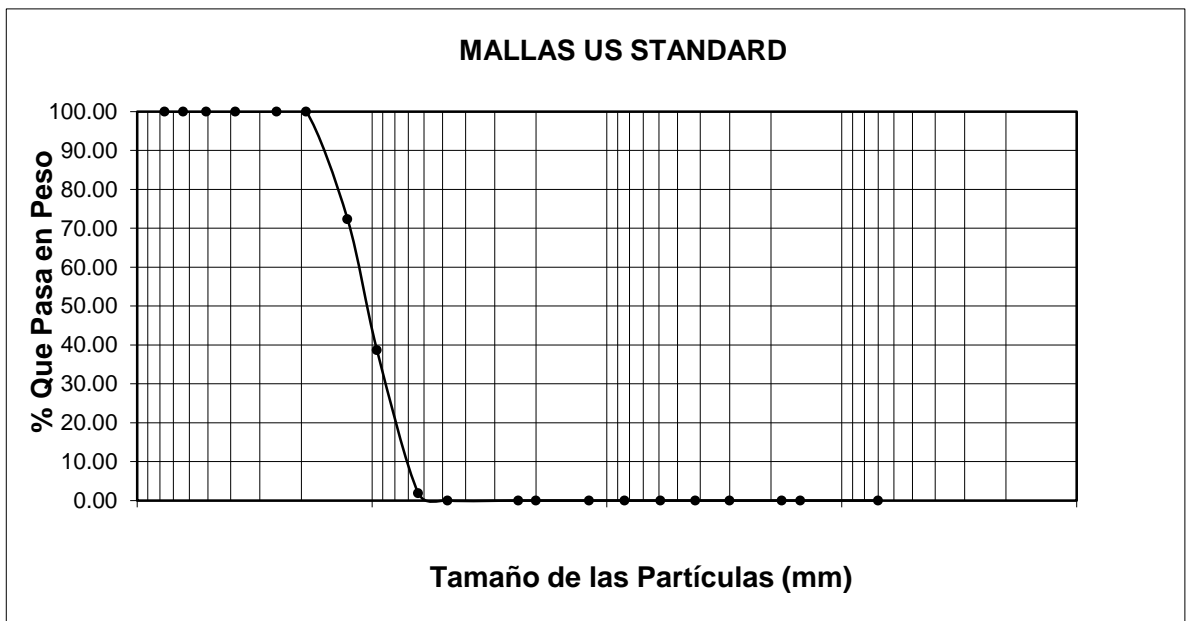
GRANULOMETRIA DE AGREGADO GRUESO

Con un Peso de muestra: 1000 kg

| Mallas | | Peso Retenido | % Retenido | % Ret. Acumulado | + % Que Pasa Acumulado |
|--------|--------|---------------|------------|------------------|------------------------|
| Pulg | Mm | | | | |
| 3/4" | 19.050 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.700 | 277.00 | 27.70 | 27.70 | 72.30 |
| 3/8" | 9.530 | 336.00 | 33.60 | 61.30 | 38.70 |
| 1/4" | 6.35 | 368.00 | 36.80 | 98.10 | 1.90 |
| N° 4 | 4.76 | 19.00 | 1.90 | 100.00 | 0.00 |

Tabla N° 09.

Lo que comprueba que el suelo es muy uniforme ya que valores inferiores a 3 se consideran muy uniformes.



Curva Granulométrica de Agregado Grueso

Cuadro N° 01

TAMIZANDO AGREGADO GRUESO

Interpretación: Se procede a colar el material pétreo, con el fin de evaluar y analizar el agregado Grueso, que pasan por la malla $\frac{3}{4}$ " hasta la malla N° 200.



Foto N° 01

Fuente: Laboratorio de Mecánica de suelos de la USS

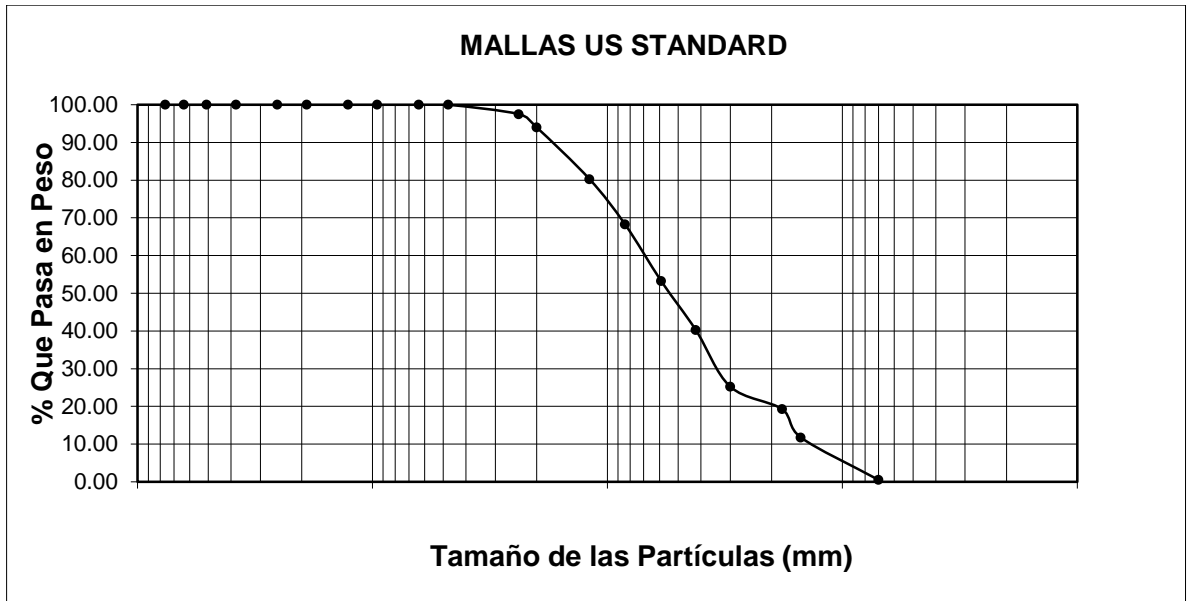
GRANULOMETRIA AGREGADO FINO

Con un peso de muestra: 400 gr.

| Mallas | | Peso Retenido | % Retenido | % Ret. Acumulado | % Que Pasa Acumulado |
|--------|-------|---------------|------------|------------------|----------------------|
| Pulg | Mm | | | | |
| N° 4 | 4.760 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| N° 8 | 2.380 | 10.00 | 2.50 | 2.50 | 97.50 |
| N° 10 | 2.00 | 14.00 | 3.50 | 6.00 | 94.00 |
| N° 16 | 1.180 | 55.00 | 13.75 | 19.75 | 80.25 |
| N° 20 | 0.840 | 48.00 | 12.00 | 31.75 | 68.25 |
| N° 30 | 0.600 | 60.00 | 15.00 | 46.75 | 53.25 |
| N° 40 | 0.420 | 52.00 | 13.00 | 59.75 | 40.25 |
| N° 50 | 0.300 | 60.00 | 15.00 | 74.75 | 25.25 |
| N° 80 | 0.180 | 24.00 | 6.00 | 80.75 | 19.25 |
| N° 100 | 0.150 | 30.00 | 7.50 | 88.25 | 11.75 |
| N° 200 | 0.075 | 45.00 | 11.25 | 99.50 | 0.50 |
| FONDO | | 2.00 | 0.50 | 100.00 | 0.00 |

Fuente Propia. Curva Granulométrica de Agregado Fino.

Tabla N° 10



Cuadro N° 02

Lo que comprueba que el suelo es uniforme ya que valores inferiores a 5 se consideran uniformes.

Interpretación:

Luego el agregado fino y grueso se combinará buscando una granulometría que dependiendo de las proporciones de estos satisfaga las granulometrías establecidas para el MAC.



Foto N° 02

Fuente: Laboratorio de Mecánica de suelos de la USS

3.1.2. Limite Líquido, Limite Plástico e Índice Plasticidad (MTC E 110 – 2000, MTC E 111 – 2000 y ASTM D – 4318).

Los límites de consistencia son fundamentales para poder determinar los índices de plasticidad. El MTC en su “Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG -2013” sección 423 tabla N°2, nos brinda los requerimientos que los agregados finos deben cumplir en una MAC.

Se realiza el ensayo Limite Liquido y Limite Plástico con material pasante por la malla N°40 Y malla N°200.

A). Análisis de Limite Liquido – Malla N°40

Es el contenido de humedad para el cual 2 secciones de una pasta de suelo, alcanzan a unirse en 12 mm, en mi caso se dio a 25 golpes en el cascador de CASAGRANDE.

Para realizar el siguiente análisis tenemos:

- ✓ Malla N° 40.
- ✓ Casa Blanca.
- ✓ Depósito de Plástico (para mezclado).
- ✓ Balanza.
- ✓ Cepillo.
- ✓ Agua destilada.
- ✓ Horno.
- ✓ 4Taras.
- ✓ Espátula.
- ✓ Bandejas Metálicas.
- ✓ Hornos eléctricos para secado de muestras.

Procedimiento del L.L:

1. Agregado Fino pasante por la Malla N°40.



Foto N° 03

2. Agregamos agua destilada al material Fino.



Foto N° 04

3. Amasamos el Material de manera que debemos obtener una masa de 1 cm de espesor.



Foto N° 05

4. Se coloca la muestra dentro del cascador mediante la espátula y enrasa el material de manera de obtener una masa de 1 cm de espesor.



Foto N° 07

5. Luego con la ayuda del RANURADOR se hace una ranura a lo largo de la muestra de 2 mm de ancho.



Foto N° 08

6. Vista de RANURA la cual deberá tener 12.5 mm, después de golpear el cascador con una velocidad de 2 golpes por segundo.



Foto N° 09

7. Se pesa las muestras.



Foto N° 10

8. Colocamos al Horno, para el proceso de secado de muestra.



Foto N° 11

Fuente: Laboratorio de Mecánica de suelos de la USS

Se utilizó la siguiente formula:

$$LL = \% \text{ HUMEDAD} \times \left[\frac{\text{N}^\circ \text{ GOLPES}}{25} \right]^{0.121} = 24.35$$

Resultados de Ensayos de Límite Líquido

| Datos de Ensayo | | | Limite Liquido | | Liquido Plástico | |
|-----------------|-------------------------------|----|----------------|-------|------------------|---|
| 1 | N° de Tara | g. | 5 | 6 | 7 | 9 |
| 2 | N° de Golpes | g. | 28 | 28 | X | X |
| 3 | Peso de Muestra Húmeda + Tara | g. | 31.02 | 24.09 | X | X |
| 4 | Peso de Muestra Seca + Tara | g. | 27.18 | 20.70 | X | X |
| 5 | Peso de Agua | g. | 3.84 | 3.39 | X | X |
| 6 | Peso de Tara | g. | 8.64 | 8.34 | X | X |
| 7 | Peso de Muestra Seca | g. | 18.54 | 12.36 | X | X |
| 8 | Contenido de Humedad | g. | 20.71 | 27.42 | X | X |

Fuente Propia: Datos de ensayo de Limite Liquido.

Tabla N° 11

B). Análisis de Limite Liquido – Limite Plástico Malla N°200

Es el contenido de humedad para el cual 2 secciones de una pasta de suelo, alcanzan a unirse en 12 mm, en mi caso se dio a 25 golpes en el cascador de CASAGRANDE.

Para realizar el siguiente análisis los mismos equipos que para el ensayo anterior a excepción de:

- ✓ Malla N° 200.

Procedimiento del L.P:

1. Agregado Fino pasante por la Malla N°200.



Foto N° 12

2. Agregamos agua destilada al material Fino.



Foto N° 13

3. Amasamos el Material de manera que debemos obtener una masa de 1 cm de espesor.



Foto N° 14

4. Se coloca el suelo dentro del cascador mediante la espátula y enrasa el material de manera de obtener una masa de 1 cm de espesor.



Foto N° 15

5. Luego con la ayuda del RANURADOR se hace una ranura a lo largo de la muestra de 2 mm de ancho.



Foto N° 16

6. Vista de RANURA la cual deberá tener 12.5 mm, después de golpear el cascador con una velocidad de 2 golpes por segundo.

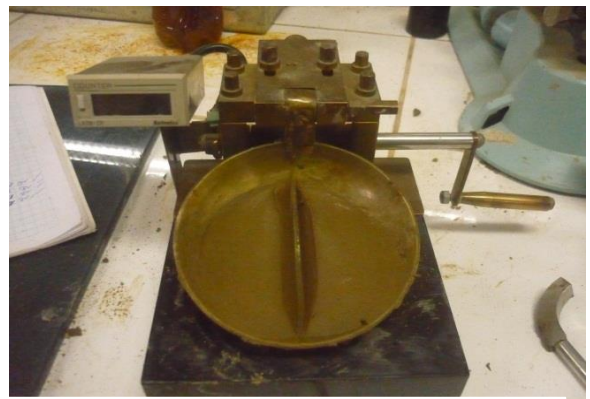


Foto N° 17

7. Se retira un poco de muestra y sobre una base lisa se hacen una tiras de medio cm de ancho formando un tubito y se frota hasta perder la humedad de la muestra.



Foto N° 18

8. Se pesa las muestras.



Foto N° 19

9. Colocamos al Horno, para el proceso de secado de muestra.



Foto N° 20

Resultados de Ensayos de Limite Plástico

| Datos de Ensayo | | | Limite Liquido | | Liquido Plástico | |
|-----------------|-------------------------------|----|----------------|-------|------------------|-------|
| 1 | N° de Tara | g. | 24 | 25 | 21 | 23 |
| 2 | N° de Golpes | g. | 22 | 20 | 22 | 20 |
| 3 | Peso de Muestra Húmeda + Tara | g. | 21.34 | 25.27 | 21.95 | 22.21 |
| 4 | Peso de Muestra Seca + Tara | g. | 17.99 | 21.30 | 19.80 | 20.29 |
| 5 | Peso de Agua | g. | 3.35 | 3.97 | 2.15 | 1.92 |
| 6 | Peso de Tara | g. | 7.27 | 8.64 | 8.72 | 8.72 |
| 7 | Peso de Muestra Seca | g. | 10.72 | 12.66 | 11.08 | 11.57 |
| 8 | Contenido de Humedad | % | 31.25 | 31.36 | 19.40 | 16.59 |

Fuente Propia: Datos de ensayo de Limite Liquido y Plástico.

Tabla N° 12

Formula:

$$LL = \% \text{ HUMEDAD} \times \left[\frac{\text{N}^\circ \text{ GOLPES}}{25} \right]^{0.121}$$

| | | |
|-----------------------|---|--|
| Limite Liquido | % | |
| Limite Plástico | % | |
| Índice de Plasticidad | % | |

3.1.3. Equivalente de Arena (NTP 339.146 y ASTM D-2419)

Material y Equipo

- ✓ 2 muestras de 110 gramos de material fino.
- ✓ Aditivo: solución Step tipo Cloruro de Calcio.
- ✓ 2 Taras Metálicas.
- ✓ 2 Tubo o Probetas de Ensayo.
- ✓ Balanza Electrónica 0,1 gr.
- ✓ 1 Pipeta (Regula la cantidad de agua)
- ✓ 1 cuchara metálica.

Procedimiento

1). Para este tipo de ensayo siempre se tomara 110gr de fino, el cual pesamos.



Foto N° 21

2). Echamos el material dentro de los tubos de ensayos.



Foto N° 22

3). Agregamos el Aditivo a nivel de tubo de 3.5 mml por tiempo de 10 minutos en reposo.



Foto N° 23

Ensayo de Equivalencia de Arena: Primera Muestra

| Descripción | Hora |
|--------------------|-------------|
| Hora de Entrada | 10 : 19 am |
| Hora de Salida | 10 : 29 am |

Tabla N° 13

Fuente Propia: Datos de Primer Ensayo

Para realizar el ensayo de segunda muestra se espera 2 min, esto con el fin de que el aditivo reaccione, el agua filtre por los poros y entre en reposo el material.

Ensayo de Equivalencia de Arena: Segunda Muestra

| Descripción | Hora |
|--------------------|-------------|
| Hora de Entrada | 10 : 21 am |
| Hora de Salida | 10 : 31 am |

Tabla N° 14

Fuente Propia: Datos de Segundo Ensayo

4). Transcurrido los 10 minutos, agitamos el material 100 veces de izquierda a derecha, esto para lavar la arena y evitar los Meniscos.

5). Limpiamos la superficie de la probeta para no dejar partículas de fino.

6). Luego llenamos la probeta con el aditivo esta vez a nivel de 15 mml, se chusea para que la base vaya limpiándose. Si excedemos la medida, con la ayuda de la Pipeta graduamos el volumen de agua a llenar.

7). Dejamos reposar por un periodo de 20 minutos.



Foto N° 24



Foto N° 25

Ensayo de Equivalencia de Arena: Primera Muestra

| Descripción | Hora |
|-----------------|------------|
| Hora de Entrada | 10 : 43 am |
| Hora de Salida | 11 : 03 am |

Tabla N° 15

Fuente Propia: Datos de Primer Ensayo

Para realizar el ensayo de segunda muestra espero 5 min, para empezar esto con el fin de que el aditivo reaccione y entre en reposo el material.

Ensayo de Equivalencia de Arena: Segunda Muestra

| Descripción | Hora |
|-----------------|------------|
| Hora de Entrada | 10 : 48 am |
| Hora de Salida | 11 : 08 am |

Tabla N° 16

Fuente Propia: Datos de Segundo Ensayo

8). Finalmente con la ayuda de un varilla cónica de un extremo, la sumergimos dentro de la probeta de ensayo, para así medir la equivalencia del material.



Foto N° 26

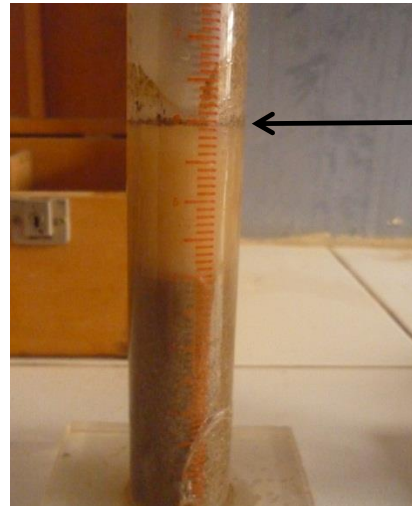


Foto N° 27

Formula de Equivalencia: (MTC E – 2013)

$$\text{Equiv} = \frac{\text{A. Grueso}}{\text{A. Fino}} \times 100$$

Resultados de Equivalencia de Arena

| Primer Ensayo | | Segundo Ensayo | |
|---------------------|---------------|---------------------|---------------|
| Agregado Grueso | = 4.5 | Agregado Grueso | = 4.3 |
| Agregado Fino | = 2.7 | Agregado Fino | = 2.6 |
| Equivalencia | = 60 % | Equivalencia | = 60 % |

Tabla N° 17

Fuente Propia: Resultados de Equivalencia

3.1.4. Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso y Fino (NTP 400.021, ASTM C-127 y NTP 400.022, ASTM C- 128 respectivamente)

Peso Específico (Agregado Fino)

1. Pesamos 600 gr como muestra de la cual pasaremos por la malla N°4.
2. Tomamos para nuestro análisis 300 gr,
3. Pesamos el Picnómetro $P = 154$ gr.
4. Echamos agua de preferencia destilada al Picnómetro, observando que el nivel de agua llegue a la línea de tope que indica el Picnómetro, debe desaparecer el Menisco.
5. Pesamos el Picnómetro + agua = 650 gr.
6. Retiramos el agua del picnómetro para así poder echar el material fino dentro del mismo.
7. Echamos el agua destilada al picnómetro solo hasta cubrir el material.
8. Luego agitamos por 20 min el picnómetro, con el fin de lavar y despejar las porosidades en el material.
9. Transcurrido los 20 min, limpiamos el borde del picnómetro, luego llenamos con agua destilada hasta el nivel que indica el picnómetro.
10. Finalmente pesamos el picnómetro + agua + material seco = 841

Datos De Peso Específico

| Descripción | Datos |
|---------------------------------------|-------------|
| (1) P. Picnómetro + Material Seco | 454 gr |
| (2) P. Picnómetro | 154 gr |
| (A) P. Suelo Seco : 1 - 2 | 300 gr |
| (B) P. Picnómetro + agua (20°C) | 650 gr |
| (C) A + B | 950 gr |
| (D) P. Picnómetro + agua + suelo seco | 838 gr |
| (E) Volumen del Material (C – D) | 112 gr |
| PESO ESPECÍFICO (A / E) | 2.67 |

Tabla N° 18

Fuente Propia: Datos de Peso Específico

Gravedad Específica – Agregados Gruesos

Para determinar la gravedad específica de los agregados gruesos se encuentra en AASHTO T – 85 y ASTM C- 127. El método es el siguiente:

- Más o menos 1 kg lavados y retenidos en la malla N° 4 (4.75 mm) se secan a peso constante.



Foto N° 28



Foto N° 29

- La muestra se sumerge por 24 horas en agua.



Foto N° 30



Foto N° 31

- Los agregados se secan del agua. Se obtiene el peso de la muestra en su condición superficialmente seca.



Foto N° 32

Colocada la fuente para tarar la pesa.



Foto N° 33



Foto N° 34

- Pesamos la muestra de agregado grueso, superficialmente seco.



Foto N° 35



Foto N° 36

- La muestra saturada superficialmente seca se coloca en una cesta de alambre y se determina el peso sumergido en agua.



Ensayo peso Específico y Absorción.

Foto N° 37

- La muestra se seca al horno hasta obtener peso constante.



Foto N° 38

Fuente Propia: Ensayos en laboratorio de USS

Gravedad Específica – Agregados Finos

Para determinar la gravedad específica de los agregados finos se detallan en ASSTHO T – 84 y ASTM C – 128. El método es el siguiente:

- Aproximadamente 1000 gr. De agregado fino se seca a peso constante.



Foto N° 39



Foto N° 40

- Se sumerge el material por 24 horas en agua.



Foto N° 41



Foto N° 42

- La muestra se extiende en una superficie plana y se expone a una corriente de aire caliente.



Foto N° 43

- La condición saturada superficialmente seca se alcanza cuando el material cae al invertirse el cono en el que la muestra del material fue suavemente compactada.



Foto N° 45

- Aproximadamente 500 gr del material en la condición saturada superficialmente seca se colocan en una fiola que se llena con agua.



Foto N° 46

- El agregado se seca de la fiola y se seca al horno a peso constante.



Foto N° 47

Fuente Propia: Ensayos en laboratorio de USS

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO

Fuente Propia: Datos Primer Ensayo

FORMULA Y CALCULO

Tabla N° 19

| | | |
|--|-------------------------|-------------|
| Peso Específico a Granel (MASA) | A/B-C | 2.57 |
| Peso Específico en condición saturada y superficie seca | B/B-C | 2.59 |
| Peso Específico Aparente | A/A-C | 2.63 |
| % de Absorción | (B-A/A) *100 | 0.94 |

| | |
|---|--------------|
| Peso de la muestra secada en horno, en gramos. | A |
| Peso de la muestra saturada pero con superficie seca, en gramos. | B |
| Peso de la muestra saturada dentro del agua, en gramos. | C |
| Este término es la pérdida de peso de la muestra sumergida y Significa por lo tanto el volumen de agua ó sea volumen de la muestra | (B-C) |

DATOS

| | |
|--|---------------|
| Peso Canastilla Vacía (gr) | 1657 |
| Peso Muestra (gr) | 5000 |
| Peso muestra sumergida + canastilla | 3280.5 |
| Peso canastilla sumergida (gr) | 683 |
| Peso muestra seca + bandeja (gr) | 4937.5 |
| Peso Bandeja (gr) | 343.5 |

| | |
|---|------------|
| B = Peso de la muestra superficie seca saturada (gr) | 749 |
| C = Peso de la muestra dentro del agua (gr) | 460 |

| | |
|--|------------|
| A = Peso de la muestra secada en horno (gr) | 742 |
|--|------------|

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO

Fuente Propia: Datos Segundo Ensayo

FORMULA Y CALCULO

Tabla N° 20

| | | |
|--|-------------------------|-------------|
| Peso Específico a Granel (MASA) | A/B-C | 2.55 |
| Peso Específico en condición saturada y superficie seca | B/B-C | 2.58 |
| Peso Específico Aparente | A/A-C | 2.62 |
| % de Absorción | (B-A/A) *100 | 0.99 |

| | |
|---|--------------|
| Peso de la muestra secada en horno, en gramos. | A |
| Peso de la muestra saturada pero con superficie seca, en gramos. | B |
| Peso de la muestra saturada dentro del agua, en gramos. | C |
| Este término es la pérdida de peso de la muestra sumergida y Significa por lo tanto el volumen de agua ó sea volumen de la muestra | (B-C) |

DATOS

| | |
|--|--------------|
| Peso Canastilla Vacía (gr) | 784 |
| Peso Muestra (gr) | 5000 |
| Peso muestra sumergida + canastilla | 3743 |
| Peso canastilla sumergida (gr) | 683 |
| Peso muestra seca + bandeja (gr) | 5281 |
| Peso Bandeja (gr) | 343.5 |

| | |
|---|----------------|
| B = Peso de la muestra superficie seca saturada (gr) | 5000 |
| C = Peso de la muestra dentro del agua (gr) | 3060 |
| A = Peso de la muestra secada en horno (gr) | 4951.05 |

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO

Fuente Propia: Datos Primer Ensayo

FORMULA Y CALCULO

Tabla N° 21

| | | |
|--|-------------------------------------|-------------|
| Peso Específico a Granel (MASA) | $A/V-W$ | 2.66 |
| Peso Específico en condición saturada y superficie seca | $500/V-W$ | 2.68 |
| Peso Específico Aparente | $A/(V-W)-(500-A)$ | 2.73 |
| % de Absorción | $((500-A)/A)*100$ | 0.97 |

DATOS

| | |
|---|---------------|
| Peso Plato (gr) | 104 |
| Peso Muestra (gr) | 178.9 |
| Peso Plato + Muestra | 502.9 |
| Peso Matras + Muestra + Agua (gr) | 917.75 |
| Peso Plato + Muestra seca en Horno (gr) enrazado a 500 ml. | 599.2 |

| | |
|--|--------------|
| A = Peso en el aire de la muestra secada en el horno, en gramos | 495.2 |
| V = Volumen del frasco, en mililitros | 500 |
| W= Peso en gramos o volumen en ml. Del agua agregado al frasco | 31.65 |

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO

Fuente Propia: Datos Segundo Ensayo

FORMULA Y CALCULO

Tabla N° 22

| | | |
|--|-----------------|-------------|
| Peso Específico a Granel (MASA) | $A/((B-(X-F)))$ | 2.60 |
| Peso Específico en condición saturada y superficie seca | $B/((B-(X-F)))$ | 2.63 |
| Peso Específico Aparente | $A/(A - (X-F))$ | 2.68 |
| % de Absorción | $((B-A)/A)*100$ | 1.19 |

DATOS

| | |
|--|--------------|
| A. Peso en gr. de muestra seca en horno | 421 |
| B. Peso en gr. de muestra S.S.S. | 425 |
| X. Peso en gr. De picnómetro + H2O + Agregado | 914 |
| F. Peso en gr. De picnómetro + H2O | 650 |
| Picnómetro | 1 |
| Temperatura | 20 °C |

3.1.5. Peso Unitario Suelto y Compactado (NTP 400.017)

Se realiza el mismo ensayo para el agregado grueso como para el agregado fino, con la diferencia en el molde y en la cantidad de material a ensayar.

Foto N° 48



a). Peso Unitario Suelto

Procedimiento.

- Previamente medimos y pesamos el molde.

- Llenamos completamente el molde para luego enrasar y pesar. (Este procedimiento se realiza para el agregado fino como para el grueso).



Foto N° 49



Foto N° 50

b). Peso Unitario Compactado

Procedimiento.

Este procedimiento es similar al anterior con la única diferencia que se llenara el molde en 3 capas, donde cada capa será compactada por 25 golpes manualmente con una varilla de 5/8" de acero liso, cuya longitud es de 60 cm, así mismo con martillo de goma se golpea el molde para procurar que el material se acomode. Finalmente el molde se llena completamente para luego enrasar y pesar.



Foto N° 53

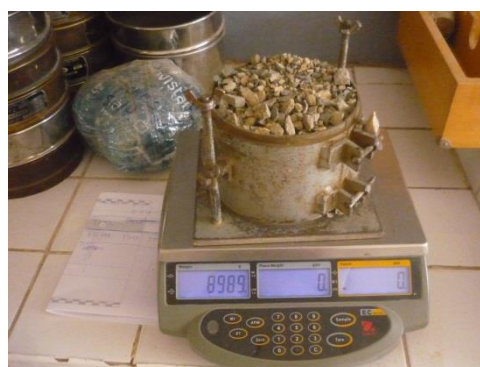


Foto N° 54

C). Peso Unitario Suelto (PET)

Procedimiento.

Para el ensayo de PET se realiza el mismo procedimiento tanto de suelto como compactado, con la diferencia que usamos un poliéster llamado PET.

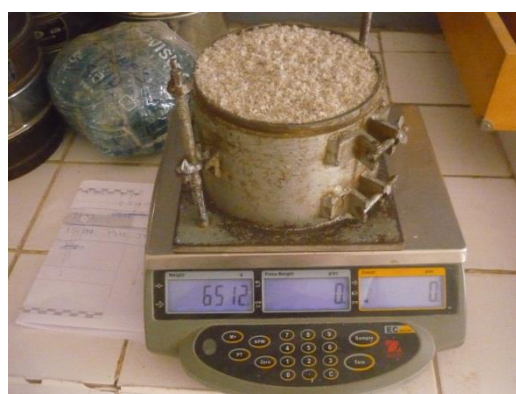


Foto N° 55

PESO UNITARIO

$$\text{Peso Unitario} = \frac{\text{Peso Muestra}}{\text{Volumen del Molde}}$$

Tabla N° 23

| | |
|--|-------------------------|
| Volumen de Molde = 2305 m ³ | Peso de Molde = 5807 Kg |
|--|-------------------------|

SUELTO AGREGADO FINO

Primer Ensayo

| | |
|--------------------------------------|------|
| Peso de Muestra (Kg) | 3280 |
| Peso Unitario (Kg / m ³) | 1.42 |

Segundo Ensayo

| | |
|--------------------------------------|------|
| Peso de Muestra (Kg) | 3354 |
| Peso Unitario (Kg / m ³) | 1.45 |

Tercer Ensayo

| | |
|--------------------------------------|------|
| Peso de Muestra (Kg) | 3324 |
| Peso Unitario (Kg / m ³) | 1.44 |

COMPACTADO AGREGADO FINO

Primer Ensayo

| | |
|--------------------------------------|------|
| Peso de Muestra (Kg) | 3754 |
| Peso Unitario (Kg / m ³) | 1.63 |

Segundo Ensayo

| | |
|--------------------------------------|------|
| Peso de Muestra (Kg) | 3742 |
| Peso Unitario (Kg / m ³) | 1.62 |

Tercer Ensayo

| | |
|--------------------------------------|------|
| Peso de Muestra (Kg) | 3707 |
| Peso Unitario (Kg / m ³) | 1.61 |

Fuente Propia: Datos Primer Ensayo

PESO UNITARIO

$$\text{Peso Unitario} = \frac{\text{Peso Muestra}}{\text{Volumen del Molde}}$$

Tabla N° 24

| | |
|--|-------------------------|
| Volumen de Molde = 2305 m ³ | Peso de Molde = 5807 Kg |
|--|-------------------------|

SUELTO AGREGADO GRUESO

Primer Ensayo

| | |
|--------------------------------------|------|
| Peso de Muestra (Kg) | 3183 |
| Peso Unitario (Kg / m ³) | 1.38 |

Segundo Ensayo

| | |
|--------------------------------------|------|
| Peso de Muestra (Kg) | 3037 |
| Peso Unitario (Kg / m ³) | 1.32 |

Tercer Ensayo

| | |
|--------------------------------------|------|
| Peso de Muestra (Kg) | 3150 |
| Peso Unitario (Kg / m ³) | 1.37 |

COMPACTADO AGREGADO GRUESO

Primer Ensayo

| | |
|--------------------------------------|------|
| Peso de Muestra (Kg) | 3423 |
| Peso Unitario (Kg / m ³) | 1.48 |

Segundo Ensayo

| | |
|--------------------------------------|------|
| Peso de Muestra (Kg) | 3375 |
| Peso Unitario (Kg / m ³) | 1.46 |

Tercer Ensayo

| | |
|--------------------------------------|------|
| Peso de Muestra (Kg) | 3478 |
| Peso Unitario (Kg / m ³) | 1.51 |

Fuente Propia: Datos Primer Ensayo

PESO UNITARIO

$$\text{Peso Unitario} = \frac{\text{Peso Muestra}}{\text{Volumen del Molde}}$$

Tabla N° 25

| | |
|--|-------------------------|
| Volumen de Molde = 2305 m ³ | Peso de Molde = 5807 Kg |
|--|-------------------------|

SUELTO PET - FILAMENTO

Primer Ensayo

| | |
|--------------------------------------|------|
| Peso de Muestra (Kg) | 703 |
| Peso Unitario (Kg / m ³) | 0.30 |

Segundo Ensayo

| | |
|--------------------------------------|------|
| Peso de Muestra (Kg) | 688 |
| Peso Unitario (Kg / m ³) | 0.30 |

Tercer Ensayo

| | |
|--------------------------------------|------|
| Peso de Muestra (Kg) | 710 |
| Peso Unitario (Kg / m ³) | 0.31 |

COMPACTADO PET - FILAMENTO

Primer Ensayo

| | |
|--------------------------------------|------|
| Peso de Muestra (Kg) | 814 |
| Peso Unitario (Kg / m ³) | 0.35 |

Segundo Ensayo

| | |
|--------------------------------------|------|
| Peso de Muestra (Kg) | 809 |
| Peso Unitario (Kg / m ³) | 0.35 |

Tercer Ensayo

| | |
|--------------------------------------|------|
| Peso de Muestra (Kg) | 825 |
| Peso Unitario (Kg / m ³) | 0.36 |

Fuente Propia: Datos Primer Ensayo

PESO UNITARIO

$$\text{Peso Unitario} = \frac{\text{Peso Muestra}}{\text{Volumen del Molde}}$$

Tabla N° 26

| | |
|--|-------------------------|
| Volumen de Molde = 2305 m ³ | Peso de Molde = 5807 Kg |
|--|-------------------------|

SUELTO PET (Malla N° 8) – FINO

Primer Ensayo

| | |
|--------------------------------------|------|
| Peso de Muestra (Kg) | 670 |
| Peso Unitario (Kg / m ³) | 0.29 |

Segundo Ensayo

| | |
|--------------------------------------|------|
| Peso de Muestra (Kg) | 678 |
| Peso Unitario (Kg / m ³) | 0.29 |

Tercer Ensayo

| | |
|--------------------------------------|------|
| Peso de Muestra (Kg) | 682 |
| Peso Unitario (Kg / m ³) | 0.30 |

COMPACTADO PET (Malla N°8) - FILAMENTO

Primer Ensayo

| | |
|--------------------------------------|------|
| Peso de Muestra (Kg) | 797 |
| Peso Unitario (Kg / m ³) | 0.34 |

Segundo Ensayo

| | |
|--------------------------------------|------|
| Peso de Muestra (Kg) | 793 |
| Peso Unitario (Kg / m ³) | 0.34 |

Tercer Ensayo

| | |
|--------------------------------------|------|
| Peso de Muestra (Kg) | 796 |
| Peso Unitario (Kg / m ³) | 0.34 |

Fuente Propia: Datos Primer Ensayo

RESULTADOS DE PESO UNITARIO

Tabla N° 27

| DATO | SUELTO | COMPACTADO |
|-----------------------------|---------------|-------------------|
| P.U. FINO | 1.44 | 1.62 |
| P.U. GRUESO | 1.36 | 1.48 |
| P.U. PET - FILAMENTO | 0.30 | 0.35 |
| P.U. PET – FINO | 0.29 | 0.34 |

Fuente Propia: Datos Ensayos en el Laboratorio USS

3.1.6. Abrasión de los Ángeles al desgaste de los agregados.

(MTC E 207 – 2000, ASTM C – 131 y AASHTO T 96)

Consiste en un cilindro hueco, de acero con una longitud interior de $508 + 5 \text{ mm}$ ($20 \pm 0.2''$) y un diámetro también interior de $711 + 5 \text{ mm}$ ($28 \pm 0.2''$).

Dicho cilindro lleva sus extremos cerrados y en el centro de cada extremo un eje, que no penetra en su interior, quedando el cilindro montado de modo que pueda girar en posición horizontal alrededor de este eje. El cilindro estará provisto de una abertura, para introducir la muestra que se desea ensayar y un entrepaño para conseguir la rotación de la mezcla y de la carga abrasiva. La abertura podrá cerrarse por medio de una tapa con empaquetadura que impida la salida del polvo, fijada por medio de pernos.

La tapa se diseñara de manera tal que se mantenga el contorno cilíndrico interior. El entrepaño se coloca de modo que la carga no caiga sobre la tapa durante el ensayo, ni se ponga en contacto con ella en ningún momento. El entrepaño será desmontable de acero, ocupando longitudinalmente toda una generatriz del cilindro y se proyectara radialmente y hacia el centro de la sección circular del cilindro en longitud de $89 + 2 \text{ mm}$ ($3,5 \pm 0.1''$). Tendrá un espesor tal que permita montarlo por medio de pernos u otro medio apropiado de forma que quede instalado de un modo firme y rígido. La distancia del entrepaño a la abertura, medida a lo largo de la circunferencia del

cilindro y en sentido de la rotación, será mayor de 1.27 m (50"). La superficie del entrepaño de la máquina de los Ángeles está sometida a un fuerte desgaste y al impacto de las bolas, originándose en ella un relieve a una distancia aproximadamente de 32 mm (1 ¼ ") desde la unión del entrepaño con la superficie interior del cilindro. La carga abrasiva consistirá en esferas de acero o de fundición, de un diámetro entre 46.38 mm (1 13/16") y 47.63 mm (1 7/8") y un peso comprendido entre 390 g y 445g.

La carga abrasiva dependerá de la granulometría de ensayo, A, B, C, o D, según se indica en el numeral 3.2, de acuerdo con la tabla 1 siguiente:

Tabla N° 28

| Granulometría de Ensayo | Numero de Esferas | Peso Total g |
|--------------------------------|--------------------------|---------------------|
| A | 12 | 5000 ± 25 |
| B | 11 | 4584 ± 25 |
| C | 8 | 3330 ± 20 |
| D | 6 | 2500 ± 15 |

Fuente Ministerio de Transporte

Preparación de la Muestra

- La muestra consistirá en agregado limpio por lavado y secado a una temperatura constante comprendida entre 105y 110 °C (221 a 230 °F), por la malla ½" y 3/8", con un peso retenido de 2500 ± 1 gr cada uno.

- Introducir la muestra junto con la carga abrasiva en la máquina de los Ángeles, cerrar la abertura del cilindro con su tapa, esta tapa posee empaquetadura que impide la salida de polvo fijada por medio de pernos. Accionar la máquina, regulándose el número de revoluciones a 500.
- Finalizado el tiempo de rotación, se saca el agregado se tamiza por la malla N° 12.
- El material retenido en el tamiz N° 12 se lava y seca en horno, a una temperatura constante entre 105° a 110°C. La muestra antes de ensayada deberá ser pesada con aproximación de 1 g.

Tabla N° 29

| Pasa Tamiz | | Retenido en Tamiz | | Pesos y granulometrías de la muestra para ensayo (g) | | | |
|----------------|--------|-------------------|--------|--|-----------|-----------|-----------|
| Mm | (alt.) | Mm | (alt.) | A | B | C | D |
| 37,5 | (1 ½") | -25,0 | (1") | 1250 ± 25 | | | |
| 25,0 | (1") | -19,0 | (¾") | 1250 ± 25 | | | |
| 19,0 | (¾") | -12,5 | (½") | 1250 ± 10 | 2500 ± 10 | | |
| 12,5 | (½") | -9,5 | (⅜") | 1250 ± 10 | 2500 ± 10 | | |
| 9,5 | (⅜") | -6,3 | (¼") | | | 2500 ± 10 | |
| 6,3 | (¼") | -4,75 | (N° 4) | | | 2500 ± 10 | |
| 4,75 | (N° 4) | -2,36 | (N° 8) | | | | 5000 ± 10 |
| TOTALES | | | | 5000 + 10 | 2500 + 10 | 5000 + 10 | 5000 + 10 |

Fuente Ministerio de Transporte

En el diseño del MAC el desgaste es importante para conocer la calidad del agregado grueso usado en la mezcla, este ensayo nos debe dar un parámetro inferior al 40% establecido por el MTC.

La importancia de no superar los valores establecidos en este ensayo radica en que la calidad de los agregados usados en la MAC le permite transmitir y distribuir los esfuerzos de carga de una intensidad máxima en la superficie hasta una mínima en la subrasante.

3.1.7. Porcentaje de Caras Fracturadas (MTC E 210 – 2000, ASTM D 5821)

El peso total de la muestra dependerá del tamaño del agregado así:

Tabla N° 30

| Tamaño del Agregado | | Peso en g |
|---------------------|-------------|-----------|
| 37.5 a 25.0 mm | (1 ½" a 1") | 2000 |
| 25.4 a 19.0 mm | (1" a ¾") | 1500 |
| 19.0 a 12.5 mm | (¾" a ½") | 1200 |
| 12.5 a 9.5 mm | (½" a 3/8") | 300 |

Procedimiento

- Extiéndase la muestra en un área grande, para inspeccionar cada partícula. Si es necesario lávese el agregado sucio. Esto facilitara la inspección y detección de las partículas fracturadas.
- Determinar la masa de la muestra con una aproximación de 0.1%.

- Prepare tres recipientes: sepárense con una espátula, las partículas redondeadas y las que tengan una o más de dos caras fracturadas. Si una partícula de agregado redondeada presenta una fractura muy pequeña, no se clasificara como partícula fracturada. Una partícula se considerará como fracturada cuando un 25% o más del área de la superficie aparece fracturada. Las fracturas deben ser únicamente las recientes, aquellas que ni han sido producidas por la naturaleza, sino por procedimientos mecánicos.
- Pése los dos recipientes con las partículas fracturadas y anótese este valor. Tenga en cuenta la suma del peso de los dos recipientes, cuando determine las partículas con una sola cara fracturada.

3.1.8. Porcentaje de Partículas Chatas y Alargadas (NTP 400.040 y

ASTM D – 4791)

La norma de ensayo ASTM D 4791 – 99 se denomina: método de ensayo Estándar para Partículas Chatas, Partículas Alargadas en el Agregado Grueso y tiene como Referencias Normativas a otras normas ASTM, todas de un solo país de origen (EE.UU).

Según esta norma, Partículas Chatas y Alargadas del Agregado, son aquellas partículas que tienen una relación de longitud a espesor mayor que un valor especificado. Las relaciones largo: espesor que se pueden determinar con esta norma son: 2/1, 3/1, 4/1 y 5/1, en el ensayo por recomendaciones del MTC se tomará la proporción 3/1.

El tamaño mínimo del agregado que se utiliza con este método es de 3/8", también evaluaremos el de 1/2".

Para la determinación del porcentaje de partículas chatas y alargadas, utiliza un calibrador – comparador de proporciones de dos postes fijos y un eje móvil. Se fija la longitud y se define a la partícula chata y alargada como aquella que pasa por la abertura menor, prefijada según una proporción determinada.

El MTC nos da como valor máximo para el porcentaje de las partículas chatas y alargadas 10% por lo que nuestro agregado cumple con esta especificación al ser nuestro porcentaje de 8.62%.

3.1.9. Contenido de Sales Solubles Totales (MTC E 219 – 2000)

La muestra de agregado pétreo se somete a continuos lavados con agua destilada a ebullición, hasta la total de sales. La presencia de estas, se detecta mediante reactivos químicos, los cuales, al menor indicio de sales forman precipitados fácilmente visibles. Del agua total de lavado, se toma una parte alícuota y se procede a cristalizar para determinar la cantidad de sales presentes.

Procedimiento

- a. Secar la muestra en horno a 110 ± 5 °C hasta peso constante, aproximado a 0,01 gramo, registrando esta masa como A.

- b. Colocar la muestra en un vaso de precipitado, agregar agua destilada en volumen suficiente para cubrir unos 3 cm sobre el nivel de la muestra y calentar hasta ebullición.
- c. Agitar durante 1 minuto. Repetir la agitación, a intervalos regulares, hasta completar cuatro agitaciones en un periodo de 10 minutos.
- d. Decantar mínimo 10 minutos hasta que el líquido se aprecie transparente y trasvasiar el líquido sobrenadante a otro vaso. Determinar en forma separada, en dos tubos de ensayo, las sales solubles con los respectivos reactivos químicos. La presencia de cloruros se detecta con unas gotas de Nitrato de Plata formándose un precipitado blanco de Cloruro de Plata la de sulfatos con unas gotas de cloruro de Bario dando un precipitado blanco de Bario.
- e. Repetir los pasos b y d hasta que no se detecte de sales, juntando los líquido sobrenadantes.
- f. Todos los líquido sobrenadantes acumulados, una vez enfriados se vacían a un matraz aforado y se enrasa con agua destilada. En caso de tener un volumen superior, concentrar mediante evaporación. Registrar el aforo como B.
- g. Tomar una alícuota de un volumen entre 50 y 100 ml de la muestra previamente homogenetizada del matraz aforado y registrar su volumen como C.
- h. Cristalizar la alícuota en un horno a $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$, hasta masa constante y registrar dicha masa como D.

Formula:

$$\% \text{ sales solubles} = \frac{1}{\text{C X A}} \times 100$$

$$\text{Extracción y Acondicionamiento} = \frac{\text{C X A}}{\text{D X B}}$$

| Agregado Pétreo | Cantidad mínima (g) | Aforo mínimo (ml) |
|------------------|---------------------|-------------------|
| Grava 50 – 20 mm | 1000 | 500 |
| Grava 20 – 5 mm | 500 | 500 |
| Grava 5 mm | 100 | 500 |

Resumen de los Resultados de los Ensayos realizados a los Agregados Pétreos.

Tabla N° 31

| ENSAYOS | NORMAS | NORMADOS POR MTC | RESULTADOS |
|---|------------------------------|--|---|
| Análisis Granulométrico por Tamizado | N.T.P. 339.128 y ASTM D 422 | | |
| Limite Liquido Limite Plástico e Índice Plasticidad | N.T.P. 339.129 y ASTM D 4318 | IP = 4% pasante N° 200 NP pasante malla 40 | IP = 3.99% pasante N° 200 NP Pasante Malla 40 |
| Equivalente de Arena | N.T.P. 339.146 y ASTM D 2419 | Min = 60% | 60 % |
| Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso | N.T.P. 400.021 y ASTM C 127 | Absorción Max: 1% | Pe = 2.672 gr / cm ³ Absorción = 0.97 |
| Peso Específico del Agregado Fino | N.T.P. 400.022 y ASTM C 128 | Absorción Max: 0.5% | Pe = 2.642 gr / cm ³ Absorción = 0.45 |
| Peso Unitario Suelto y Compactado | N.T.P. 400.017 | | Agregado Grueso PUSS = 1438.15 kg/cm ³ PUCS = 1571.68 kg/cm ³ |
| | | | Agregado Fino PUSS = 1451.17 kg/cm ³ PUCS = 1637.54 kg/cm ³ |

| | | | |
|--|------------------------------|-----------|---------|
| Abrasión de los Ángeles al Desgaste de los Agregados | MTC E 207-2000 y ASTM C 131 | Max : 40% | 15.50 % |
| Porcentaje de Caras Fracturadas | MTC E – 210 | Min : 50% | 93.97 % |
| Porcentaje de Partículas Chatas y Alargadas | N.T.P. 400.040 y ASTM D 4791 | 10 | 8.62 |
| Contenido de Sales Solubles Totales | N.T.P. 339.152 | 0.50% | 0.16 % |

3.1.10. Ensayo de Durabilidad (MTC E 209 – 2000, NTP 400.016 y AASHTO T 104)

Mediante el ensayo de durabilidad se determina la resistencia del agregado al ataque de los agentes químicos, mediante la simulación de hielo y deshielo, usando para esto una solución de sulfato de Magnesio con densidad entre 1.15 a 1.17 gr / cm³. Esta densidad se logra diluyendo 217 gr de sulfato de magnesio por cada litro de agua destilada.

Para este ensayo se necesita conocer la granulometría del agregado que permite determinar el escalonado original que se usa en el cálculo de la pérdida corregida por lo que el ensayo de durabilidad implica un ensayo de granulometría.

Procedimiento

- Se realiza el análisis granulométrico por tamizado, calculando los porcentajes retenidos en cada uno de los tamices. Se procede separadamente para el agregado grueso y el fino.

Para el Agregado Grueso

- La muestra se tamiza por malla N° 4 y se trabaja con el material retenido en este tamiz.
- Se tamiza por las mallas indicadas en la Tabla N° 3, procurando tener un peso aproximado al indicado, colocando en taras diferentes según los diámetros, se lava y se pone a secar en horno a 110°C hasta peso constante.
- Una vez seco se vuelve a tamizar, se anota el Peso exacto que está comprendido entre los tamices correspondientes y se coloca en las mismas taras de modo que quedan separados según diámetros.
- Se le añade la solución la solución de sulfato de sodio o magnesio hasta que el agregado quede completamente sumergido en ella y se le deja reposar por 16 a 18 horas de preferencia cubriendo las taras que no se evapore el sulfato.
- Se vacía el sulfato en un depósito y se calienta las taras por 2 a 3 horas en horno a 110°C. Esta variación de temperatura produce la

dilatación del agregado que si no es resistente se fractura o rompe debido a que por la cristalización está debilitado.

- Se le retira del horno y se le deja enfriar a temperatura ambiente aproximadamente 1 hora, se añade nuevamente el sulfato y se deja en reposo por 16 a 18 horas. A esto se le conoce como un ciclo. El proceso de ataque químico se mide con 5 de estos ciclos de ataque del material con sulfato de sodio o magnesio y variación de temperatura.
- Una vez finalizados los ciclos se lava el agregado cuidando que la muestra quede totalmente libre del sulfato y se seca en horno a 110°C por 16 horas hasta peso constante. Si es necesario se deja en remojo con agua hasta el día siguiente para que todo el sulfato se disuelva y poder así eliminarlo el material que pasa dicho tamiz y se pesa el material retenido en cada tamiz por separado.
- Con la pérdida de peso sufrida y de acuerdo al porcentaje retenido en cada tamiz se calcula el desgaste por ataque químico.

Para el Agregado Fino

- La muestra se tamiza por la malla 3/8" y se trabaja con el material que pasa por este tamiz.

- Se tamiza por las mallas N° 4, 8, 16, 30 y 50 pesando aproximadamente 120 a 150 gr de material comprendido entre los tamices indicados en la tabla 01. Se coloca en taras distintas según el diámetro, se lava y se pone a secar en horno a 110°C hasta peso constante.
- Se vuelve a tamizar por las mismas mallas. Este tamizado debe ser muy cuidadoso, para evitar distorsiones en los resultados. Luego se pesa 100 gr de cada grupo, tal como se indica en la tabla. Se le añade el sulfato de sodio o magnesio de modo que cubra completamente el material y la solución quede unos cm, sobre el mismo y se procede de la misma manera que con el agregado grueso, cumpliendo los cinco ciclos, al final de los cuales se lava y seca la muestra para determinar su desgaste. Al momento de vaciar la solución en cada ciclo para evitar que el agregado fino se pierda con ésta, se puede usar un vidrio para que solamente se vacié el líquido sin el material.

Tabla N° 32

Pesos requeridos de muestra para Ensayo de Durabilidad

| DIAMETRO | | PESO EN GRAMOS |
|------------------------------------|------------|-----------------|
| Que pasa | Retenido | |
| <i>Para Agregado Grueso</i> | | |
| 2 ½" | 1 ½" | 5000 = 300 |
| 2 ½" | 2" | 3000 = 300 |
| (60%) | | |
| 2" | 1 ½" | 2000 = 200 |
| (40%) | | |
| 1 ½" | ¾" | 1500 = 50 |
| 1 ½" | 1" | 1000 = 50 |
| (67%) | | |
| 1" | ¾" | 500 = 30 |
| (33%) | | |
| ¾" | 3/8" | 1000 = 10 |
| ¾" | ½" | 670 = 10 |
| (67%) | | |
| ½" | 3/8" | 330 = 05 |
| (33%) | | |
| 3/8" | N°4 | 300 = 05 |

Para Agregado Fino

| | | |
|------|------|-----|
| 3/8" | N°4 | 100 |
| N°4 | N°8 | 100 |
| N°8 | N°16 | 100 |
| N°16 | N°30 | 100 |
| N°30 | N°50 | 100 |

FUENTE: PAVIMENTO ASFALTICO DE LA MTC

3.1.11. Impurezas Orgánicas en el Agregado Fino (MTC E 213 – 2000,

ASTM C 40 y AASHHTO T 21)

Cuando se sospecha que un material tiene alto contenido de materia orgánica, por su color oscuro o su olor desagradable, al agregado fino se le somete a una prueba para determinar cualitativamente su contenido de materia orgánica. Cuando uno ve que definitivamente el agregado contiene alto grado de materia orgánica, se recurre al ensayo cuantitativo, en el cual se precisa la cantidad exacta en la muestra. Pero en estos casos basta con saber que el ensayo de impurezas orgánicas ha dado como resultado que la muestra no es aceptable para desechar la cantera.

Procedimiento

- Se tamiza el material por el tamiz N°4 y se usa el material que pasa dicha malla cuidando deshacer los terrones si los hubiera, secándolo hasta Peso constante.
- Se coloca material en el frasco hasta el nivel de 4" y se agrega el hidróxido de sodio poco a poco para que el material absorba por completo el hidróxido, hasta llegar al nivel de 6".
- Se deja reposar el material por 24 horas.
- Pasado ese tiempo se observa la coloración de muestra. Si es transparente no hay problema, pero si va tomando coloración entre naranja claro y oscuro hasta rojizo hay que verificar con el colorímetro en que grado se encuentra. Si la coloración es oscura definitivamente contiene alto grado de materia orgánica y no es aceptable.

3.1.12. Adherencia de Agregado Grueso y Fino

Agregado Grueso (ASTM D 1664)

Este método describe los procedimientos de revestimiento e inmersión estática para determinar la retención de una película bituminosa sobre una superficie de agregado en presencia del agua. Esto es aplicable para ambos bitúmenes: RC y cemento asfáltico. Donde se desee evitar el desprendimiento se puede agregar algún aditivo.

Procedimiento

- Se tamiza el agregado entre las mallas 3/8" y 1/4" el material retenido en la malla 1/4" se lava y se pone a secar en horno a 110°C hasta peso constante.

Con cemento asfáltico

- Se calienta el agregado así preparado y el asfalto hasta una temperatura promedio constante de 130°C a 140°C.
- Se pesa en una tara 100 gr de muestra y agregar 5.5 gr de asfalto, conservando la temperatura indicada durante la mezcla. Se calienta la espátula y se mezcla vigorosamente hasta que el agregado quede totalmente revestido. Se deja que la mezcla enfrie a temperatura ambiente.
- Se transfiere el agregado revestido a un recipiente de vidrio de 600 ml y se añade con aproximadamente 400 ml de agua destilada a 25°C. se deja sumergido en el agua por espacio de 16 – 18 horas.

- Sin agitar o alterar el agregado revestido, se quita alguna película que flota en la superficie del agua. Se ilumina el espécimen con una lámpara de manera que impida el brillo de la superficie del agua. Por observación se determina a través del agua el porcentaje estimado del área total visible del agregado que queda revestido sobre o por debajo del 95%, algunas áreas o aristas translucidas o parduzcas se consideran como totalmente revestidas.

Con RC – 250

- Se calienta la muestra y el RC a temperatura de 35 °C. se pasa 100 gr de agregado y se le añade 5.5 gr de RC, conservando la temperatura indicada y se mezcla con la espátula por 2 minutos.
- Se cura en el horno el agregado revestido en el recipiente original a 60°C por espacio de dos horas. Después del curado remezcla con la espátula mientras la mezcla enfría a temperatura ambiente.
- Se procede de la misma manera que para Cemento Asfáltico, sumergiendo la muestra en agua destilada y estimar visualmente a las 16 – 18 horas si más o menos del 95% del agregado queda revestido con el bitumen.

Agregado fino (RIEDEL WEBER) – D.E.E. MA.S

Este método describe el procedimiento para determinar el grado de adhesividad del agregado fino arena con los ligante bituminosos (asfalto).

Procedimiento

- Se tamiza tamiza el agregado fino por las mallas N°30 y N°80. El tamizado será muy cuidadoso para no usar muestra inferior a la del tamiz N°80 usándose la porción retenida en este tamiz.
- Mezclar aproximadamente 100 gr de muestra en la proporción 71% de agregado y 29% de bitumen, a la misma temperatura indicada para la adherencia de agregado grueso, de acuerdo al tipo de bitumen 130 – 140°C para cemento asfáltico y 35°C para R-250 procediendo en este último caso al curado por dos horas en horno a 60°C. se debe lograr un mezclado homogéneo y revestimiento total de las partículas.
- Se pone a enfriar la muestra así lograda a temperatura ambiente y se pesa 0.5 gr en forma homogénea (puede ser cono esferitas).
- Se coloca en el tubo de ensayo de 2 a 3 ml de una de las soluciones, empezando por la de concentración de soluciones molares cero, se calienta hasta su ebullición y se añade la mezcla de 0.5gr dejándola en ebullición por 1 minuto, luego del cual se observa si hay desprendimiento. Si no lo hubiera se continúa con las otras soluciones. El ensayo termina cuando se observa desprendimiento dándole a la muestra el grado correspondiente a la solución donde empezó este.

- Para que el agregado pase la prueba debe ser como mínimo de grado 4.
- Se coloca en el tubo de ensayo de 2 a 5 ml de una de las soluciones, empezando por la de concentración de soluciones molares cero, se calienta hasta su ebullición y se añade la mezcla de 0.5 gr dejándola en ebullición de por 1 minuto, luego del cual se observa si hay desprendimiento. Si no lo hubiera se continúa con las otras soluciones. El ensayo termina cuando se observa desprendimiento dándole a la muestra el agrado correspondiente a la solución donde empezó este.

Para que un agregado pase la prueba debe ser como mínimo de grado 4".

En termino generales se comprueba que la adherencia más difícil de cumplir por el agregado es la de agregado fino o Riedel Weber, por lo que se emplean distintos tipos de aditivos, siendo el más conocido el RADICOTE. En estos casos se puede iniciar el ensayo si aditivo y si no pasa la prueba se tantea con distintos porcentajes de aditivo en bitumen (0.5%, 0.75%, 1%) para lograr que se cumpla la adherencia que en obra es vital, porque de lo contrario se nota el desprendimiento en la carpeta asfáltica lo que produce debilitamiento y deterioro rápido de la misma.

3.1.13. Definición De Las Dimensiones Y Granulometría Del PPR

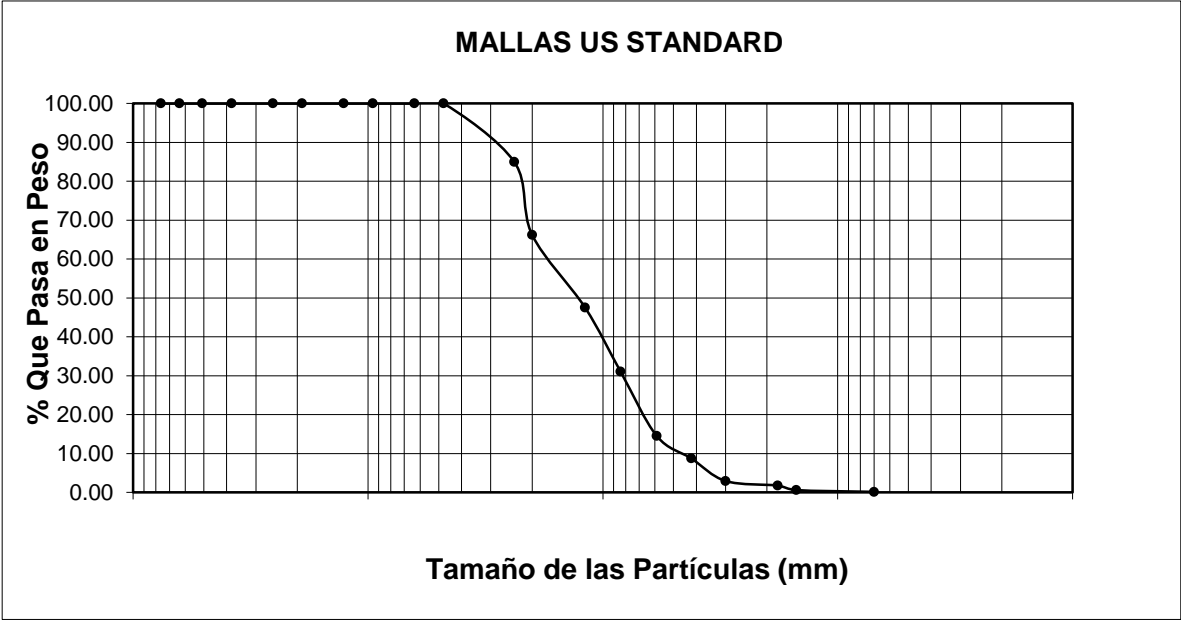
En esta investigación se usó PPR en dos presentaciones: Filamento y Polvo. Tomando en cuenta las consideraciones antes mencionadas se realizó los siguientes ensayos.

Análisis Granulométrico por Tamizado de PPR en Filamento
 Peso de muestra = 500 gr

Tabla N° 33

| Mallas | | Peso Retenido | % Retenido | % Ret. Acumulado | % Que Pasa Acumulado |
|--------|-------|---------------|------------|------------------|----------------------|
| Pulg | Mm | | | | |
| N° 4 | 4.760 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| N° 8 | 2.380 | 75.26 | 15.05 | 15.05 | 84.95 |
| N° 10 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| N° 16 | 1.180 | 187.13 | 37.43 | 52.48 | 47.52 |
| N° 20 | 0.840 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| N° 30 | 0.600 | 164.90 | 32.98 | 85.46 | 14.54 |
| N° 40 | 0.420 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| N° 50 | 0.300 | 58.00 | 58.00 | 97.06 | 2.94 |
| N° 80 | 0.180 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| N° 100 | 0.150 | 11.66 | 2.33 | 99.39 | 0.61 |
| N° 200 | 0.075 | 2.30 | 0.46 | 99.85 | 0.15 |
| FONDO | | 0.75 | 0.15 | 100.00 | 0.00 |

Cuadro N° 03



76.200
63.500
50.800
38.100
25.400
19.050
12.700
9.530
6.350
4.760
2.380
2.000
1.190
0.840
0.590
0.420
0.297
0.177
0.149
0.074

ANÁLISIS DE ENSAYOS

TABLAS Y GRAFICOS

AGREGADO GRUESO

Tabla N° 34

| | | | | | |
|-----------------------|---|-----------------|-------------------------|--|-------|
| TESIS | : "Propuesta de Diseño de Mezclas Asfálticas con Adiciones de PET". | | | | |
| ALUMNO | : José Martin Navarro Jiménez. | | | | |
| ASESOR | : Ing. Nepton David Ruiz Saavedra. | | | | |
| CANTERA | : Tres Tomas | | | | |
| MATERIAL | : Para Mezclas Asfálticas en Caliente | | | | |
| FECHA | : 16/07/2014 | | | | |
| Abertura Malla | | Peso | Especificaciones | PESO DE LA MUESTRA ANALIZADA : 1148 gr | |
| Pulg. | mm. | Retenido | | | |
| 3" | 76.20 | 0.00 | | | |
| 2 1/2" | 63.50 | 0.00 | | L.L. | N° P° |
| 2" | 50.80 | 0.00 | | L.P. | N° P° |
| 1 1/2" | 38.10 | 0.00 | | | |
| 1" | 25.40 | 0.00 | | CLASIFICACION: | |
| 3/4" | 19.05 | 0.00 | | SUCS : | |
| 1/2" | 12.70 | 425.00 | | AASHTO: | |
| 3/8" | 9.53 | 352.00 | | | |
| 1/4" | 6.35 | 269.00 | | | |
| N° 04 | 4.76 | 102.00 | | SI EL DIAMETRO DEL MATERIAL > 3" COLOCAR | |
| N° 08 | 2.38 | 0.00 | | EL N° 100 EN EL RECUADRO | |
| N° 10 | 2.00 | 0.00 | | | |
| N° 16 | 1.19 | 0.00 | | | |
| N° 20 | 0.84 | 0.00 | | Humedad Natural | |
| N° 30 | 0.59 | 0.00 | | PIEDRA PARA CONCRETO | |
| N° 40 | 0.42 | 0.00 | | 3/4" | |
| N° 50 | 0.30 | 0.00 | | | |
| N° 80 | 0.18 | 0.00 | | | |
| N° 100 | 0.15 | 0.00 | | | |
| N° 200 | 0.07 | 0.00 | | | |
| <N° 200 | 0.050 | 0.00 | | | |
| TOTAL | | 1148.00 | gr. | | |

Tabla N° 35

| ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------|--------------------|----------------------|------------|------------------|------------------------|
| Abertura Malla | Peso Retenido | % Retenido Parcial | % Retenido Acumulado | % Que Pasa | Especificaciones | CLASIFICACION SUCS |
| Pulg. | mm. | | | | | |
| 3" | 76.20 | --- | --- | 100.00 | | |
| 2 1/2" | 63.50 | --- | --- | 100.00 | | |
| 2" | 50.80 | --- | --- | 100.00 | | |
| 1 1/2" | 38.10 | --- | --- | 100.00 | | |
| 1" | 25.40 | --- | --- | 100.00 | 100 | L.L. : N° P° |
| 3/4" | 19.05 | --- | --- | 100.00 | 90 – 100 | L.P. : N° P° |
| 1/2" | 12.70 | 425.00 | 37.02 | 62.98 | | I.P. : N° P° |
| 3/8" | 9.53 | 352.00 | 30.66 | 32.32 | 20 – 55 | CLASIFICACION |
| 1/4" | 6.35 | 269.00 | 23.43 | 8.89 | | AASHTO : 0 |
| N° 04 | 4.76 | 102.00 | 8.89 | 0.00 | 0 – 10 | Módulo de Fineza: 6.00 |
| N° 08 | 2.38 | --- | --- | 0.00 | 0 – 5 | Humedad Natural : 0 |
| N° 10 | 2.00 | --- | --- | 0.00 | | |
| N° 16 | 1.19 | --- | --- | 0.00 | | |
| N° 20 | 0.84 | --- | --- | 0.00 | | OBSERVACIONES: |
| N° 30 | 0.59 | --- | --- | 0.00 | | |
| N° 40 | 0.42 | --- | --- | 0.00 | | |
| N° 50 | 0.30 | --- | --- | 0.00 | | |
| N° 80 | 0.18 | --- | --- | 0.00 | | |
| N° 100 | 0.15 | --- | --- | 0.00 | | |
| N° 200 | 0.07 | --- | --- | 0.00 | | |
| <N° 200 | | --- | --- | 0.00 | | |
| Peso Inicial | 1148.00 | | | | | |

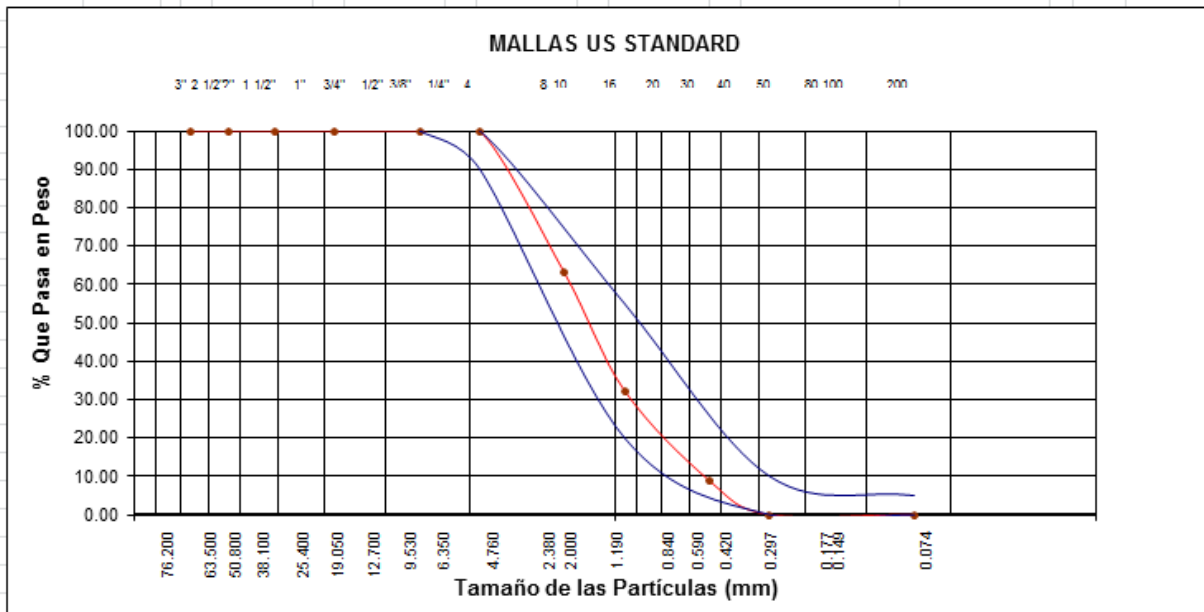


Tabla N° 36
AGREGADO FINO

| | | | | | | | | |
|-----------------------|------------|-----------------|---|-------------------------|--|-------|---------------|--|
| TESIS | | | : "Propuesta de Diseño de Mezclas Asfálticas con Adiciones de PET". | | | | | |
| ALUMNO | | | : José Martín Navarro Jiménez. | | | | | |
| ASESOR | | | : Ing. Nepton David Ruiz Saavedra. | | | | | |
| CANTERA | | | : Tres Tomas . | | | | | |
| MATERIAL | | | : Para Mezclas Asfálticas en Caliente. | | | | | |
| FECHA | | | : 16/07/2014 | | | | | |
| Abertura Malla | | | Peso | Especificaciones | PESO DE LA MUESTRA ANALIZADA : | | 161 gr | |
| Pulg. | mm. | Retenido | | | | | | |
| 3" | 76.20 | 0.00 | | | | | | |
| 2 1/2" | 63.50 | 0.00 | | | L.L. | Nº Pº | | |
| 2" | 50.80 | 0.00 | | | L.P. | Nº Pº | | |
| 1 1/2" | 38.10 | 0.00 | | | | | | |
| 1" | 25.40 | 0.00 | | | CLASIFICACION: | | | |
| 3/4" | 19.05 | 0.00 | | | SUCS : | | | |
| 1/2" | 12.70 | 0.00 | | | AASHTO: | | | |
| 3/8" | 9.53 | 0.00 | | | | | | |
| 1/4" | 6.35 | 2.58 | | | | | | |
| Nº 04 | 4.76 | 5.25 | | | SI EL DIAMETRO DEL MATERIAL > 3" COLOCAR | | | |
| Nº 08 | 2.38 | 13.36 | | | EL Nº 100 EN EL RECUADRO | | | |
| Nº 10 | 2.00 | 14.25 | | | | | | |
| Nº 16 | 1.19 | 11.36 | | | | | | |
| Nº 20 | 0.84 | 12.36 | | | Humedad Natural | | | |
| Nº 30 | 0.59 | 26.98 | | | MATERIAL PARA FABRICACION | | | |
| Nº 40 | 0.42 | 33.36 | | | DE CONCRETO: F'c 175Kg/cm2 | | | |
| Nº 50 | 0.30 | 15.89 | | | CANTERA: TRES TOMAS | | | |
| Nº 80 | 0.18 | 9.98 | | | TRES TOMAS | | | |
| Nº 100 | 0.15 | 7.58 | | | | | | |
| Nº 200 | 0.07 | 5.26 | | | | | | |
| <Nº 200 | 0.050 | 2.79 | | | | | | |
| TOTAL | | 161.00 | gr. | | | | | |

Tabla N° 37

| ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO | | | | | | |
|--------------------------------------|---|--------------------|----------------------|------------|------------------|------------------------|
| TESIS | : "Propuesta de Diseño de Mezclas Asfálticas con Adiciones de PET". | | | | | |
| ALUMNO | : José Martin Navarro Jiménez. | | | | | |
| ASESOR | : Ing. Nepton David Ruiz Saavedra. | | | | | |
| CANTERA | : Tres Tomas | | | | | |
| MATERIAL | : Para Mezclas Asfálticas en Caliente. | | | | | |
| FECHA | : 16/07/2014 | | | | | |
| Abertura Malla | Peso Retenido | % Retenido Parcial | % Retenido Acumulado | % Que Pasa | Especificaciones | CLASIFICACION SUCS |
| Pulg. | mm. | | | | | |
| 3" | 76.20 | | | | | AGREGADO FINO |
| 2 1/2" | 63.50 | | | | | |
| 2" | 50.80 | | | | | |
| 1 1/2" | 38.10 | | | | | |
| 1" | 25.40 | | | | | |
| 3/4" | 19.05 | | | | | |
| 1/2" | 12.70 | | | | | L.L. : |
| 3/8" | 9.53 | | | 100.00 | 100 | L.P. : |
| 1/4" | 6.35 | 2.58 | 1.60 | 98.40 | | L.P. : |
| N° 04 | 4.76 | 5.25 | 3.26 | 95.14 | 95 – 100 | CLASIFICACION AASHTO : |
| N° 08 | 2.38 | 13.36 | 8.30 | 86.84 | 80 – 100 | Módulo de Fineza: 2.80 |
| N° 10 | 2.00 | 14.25 | 8.85 | 77.99 | | |
| N° 16 | 1.19 | 11.36 | 7.06 | 29.07 | 70.93 | 50 – 85 |
| N° 20 | 0.84 | 12.36 | 7.68 | 36.75 | 63.25 | |
| N° 30 | 0.59 | 26.98 | 16.76 | 53.50 | 46.50 | 25 – 60 |
| N° 40 | 0.42 | 33.36 | 20.72 | 74.22 | 25.78 | |
| N° 50 | 0.30 | 15.89 | 9.87 | 84.09 | 15.91 | 10 – 30 |
| N° 80 | 0.18 | 9.98 | 6.20 | 90.29 | 9.71 | |
| N° 100 | 0.15 | 7.58 | 4.71 | 95.00 | 5.00 | 2 – 10 |
| N° 200 | 0.07 | 5.26 | 3.27 | 98.27 | 1.73 | 0 – 3 |
| <N° 200 | | 2.79 | 1.73 | 100.00 | 0.00 | |
| Peso Inicial | 161.00 | | | | | |

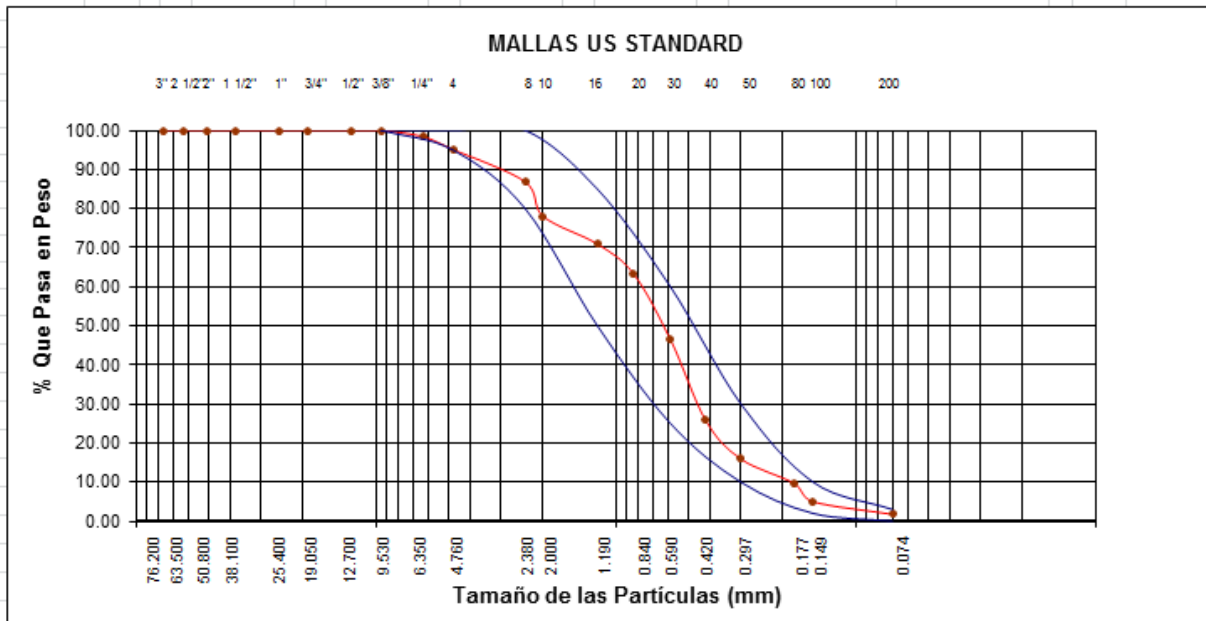


Tabla N° 38

LIMITES DE CONSISTENCIA

| LIMITES DE ATTERBERG | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|---|-------|-------|-----|-----|---------------|--|--|---------|------|--------|------|-------|-----|------|-------|-----|------|-------|-----|
| ASTM - D423 - ASTM - D424 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TESIS | : | "Propuesta de Diseño de Mezclas Asfálticas con Adiciones de PET". | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ALUMNO | : | José Martín Navarro Jiménez | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ASESOR | : | Ing. Nepton David Ruiz Saavedra. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MATERIAL | : | Para Mezclas Asfálticas en Caliente. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FECHA | : | 16/07/2014 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CANTERA | : | Tres Tomas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LIMITE LIQUIDO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CALICATA N° - MUESTRA N° | | M - 1 | | | --- | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PROFUNDIDAD (m) | | | | | --- | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Número de golpes | | 13 | 20 | 27 | --- | --- | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. Recipiente N° | | 38 | 24 | 18 | --- | --- | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. Peso suelo húmedo + Tara | (gr) | 41.23 | 44.62 | 46.37 | --- | --- | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. Peso suelo seco + Tara | (gr) | 37.69 | 40.97 | 42.55 | --- | --- | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4. Peso de la Tara | (gr) | 11.36 | 12.36 | 11.58 | --- | --- | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5. Peso del agua | (gr) | 3.54 | 3.65 | 3.82 | --- | --- | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6. Peso del suelo seco | (gr) | 26.33 | 28.61 | 30.97 | --- | --- | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7. Humedad | (%) | 13.44 | 12.76 | 12.33 | --- | --- | | | | | | | | | | | | | | | |
| LIMITE PLASTICO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CALICATA N° - MUESTRA N° | | | | | --- | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PROFUNDIDAD (m) | | | | | --- | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. Recipiente N° | | --- | --- | --- | --- | --- | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. Peso suelo húmedo + Tara | (gr) | --- | --- | --- | --- | --- | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. Peso suelo seco + Tara | (gr) | --- | --- | --- | --- | --- | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4. Peso de la Tara | (gr) | --- | --- | --- | --- | --- | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5. Peso del agua | (gr) | --- | --- | --- | --- | --- | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6. Peso del suelo seco | (gr) | --- | --- | --- | --- | --- | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7. Humedad | (%) | --- | --- | --- | --- | --- | | | | | | | | | | | | | | | |
| GRAFICO DEL LIMITE LIQUIDO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">MUESTRA</th> </tr> <tr> <th></th> <th>0</th> <th>0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>L.L.</td> <td>12.45</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>L.P.</td> <td>N° P°</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>I.P.</td> <td>N° P°</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | | | MUESTRA | | | | 0 | 0 | L.L. | 12.45 | --- | L.P. | N° P° | --- | I.P. | N° P° | --- |
| MUESTRA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L.L. | 12.45 | --- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L.P. | N° P° | --- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I.P. | N° P° | --- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">CLASIFICACION</th> </tr> <tr> <th>MUESTRA</th> <th>SUCS</th> <th>AASHTO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | | | CLASIFICACION | | | MUESTRA | SUCS | AASHTO | 0 | --- | --- | | | | | | |
| CLASIFICACION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MUESTRA | SUCS | AASHTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | --- | --- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Observaciones: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla N° 39

| EQUIVALENTE DE ARENA | | | | |
|--|---|-------------|----------|--|
| ASTM - D2419 | | | | |
| TESIS | : "Propuesta de Diseño de Mezclas Asfálticas con Adiciones de PET". | | | |
| ALUMNO | : José Martín Navarro Jiménez. | | | |
| ASESOR | : Ing. Nepton David Ruiz Saavedra. | | | |
| MATERIAL | : Para Mezclas Asfálticas en Caliente. | | | |
| CANTERA | : Tres Tomas | | | |
| FECHA | : 16/07/2014 | | | |
| Tamaño Máximo mm. | 4.75 | 4.75 | | |
| Muestra N° | M - 1 | M - 2 | | |
| Hora de Entrada | 9.20 | 9.24 | | |
| Hora de Salida | 9.30 | 9.34 | | |
| Hora de Entrada | 9.33 | 9.37 | | |
| Hora de Salida | 9.53 | 9.57 | | |
| Altura máx. del mat. Fino cm. | 4.3 | 4.5 | | |
| Altura máx. de la Arena cm. | 3.0 | 2.9 | | |
| Equivalente de Arena | 69.8 | 64.4 | | |
| EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO : | | 67.1 | % | |
| OBSERVACIONES : | | | | |

Tabla N° 40

| PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS | | | | | | | |
|--|---|--|------------------------------|--|--------------|----------|----------|
| TESIS: | "Propuesta de Diseño de Mezclas Asfálticas con Adiciones de PET". | | | | | | |
| ALUMNO: | José Martin Navarro Jiménez. | | | | | | |
| ASESOR: | Ing. Nepton David Ruiz Saavedra. | | | | | | |
| MATERIAL : | Para Mezclas Asfálticas en Caliente | | | | | | |
| CANTERA : | Tres Tomas | | | | | | |
| FECHA : | 16/07/2014 | | | | | | |
| PESO ESPECIFICO BULK AGREGADO GRUESO (ASTM C - 127) | | | | | | | |
| | | | | | 1 | 2 | 3 |
| PESO MUESTRA SECA AL HORNO | | | | | 1162.00 | 385.20 | 389.12 |
| PESO MUESTRA S. S. S. SIN SUMERGIR | | | | | 1173.00 | 391.20 | 395.41 |
| PESO MUESTRA S. S. S. SUMERGIDA | | | | | 736.00 | 248.30 | 248.50 |
| PESO ESPECIFICO APARENTE | | | $= \frac{A}{A-C}$ | | 2.728 | 2.814 | 2.767 |
| PESO ESPECIFICO SOBRE BASE SECA | | | $= \frac{A}{B-C}$ | | 2.659 | 2.70 | 2.65 |
| PESO ESPECIFICO SOBRE BASE SECA S.S.S | | | $= \frac{B}{B-C}$ | | 2.684 | 2.74 | 2.69 |
| ABSORCION DE AGUA EN PORCENTAJE | | | $= \frac{B-A}{A} \times 100$ | | 0.94 | 1.53 | 1.59 |
| Observaciones : | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| PESO ESPECIFICO BULK AGREGADO FINO (ASTM C - 128) | | | | | | | |
| | | | | | 1 | 2 | 3 |
| PICNOMETRO N° | | | | | 32.0 | | |
| TEMPERATURA °C | | | | | | | |
| PESO EN gr. DE MUESTRA SECA AL HORNO | | | | | 496.40 | | |
| PESO EN gr. DE MUESTRA S. S. S. | | | | | 502.00 | | |
| PESO EN gr. DE PICNOMETRO + H ₂ O + AGREGADO | | | | | 740.20 | | |
| PESO EN gr. DE PICNOMETRO + H ₂ O | | | | | 425.00 | | |
| PESO ESPECIFICO APARENTE | | | $= \frac{A}{A-(X - F)}$ | | 2.740 | | |
| PESO ESPECIFICO SOBRE BASE SECA | | | $= \frac{A}{B-(X - F)}$ | | 2.657 | | |
| PESO ESPECIFICO SOBRE BASE S.S.S | | | $= \frac{B}{B-(X - F)}$ | | 2.69 | | |
| ABSORCION DE AGUA EN PORCENTAJE | | | $= \frac{B-A}{A} \times 100$ | | 1.13 | | |
| Observaciones : | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Tabla N° 41

| PESO VOLUMETRICO | | | | | |
|---|---|-------------------|-------------------|-----------------------|----------|
| TESIS: | "Propuesta de Diseño de Mezclas Asfálticas con Adiciones de PET". | | | | |
| ALUMNO: | José Martin Navarro Jiménez. | | | | |
| ASESOR: | Ing. Nepton David Ruiz Saavedra. | | | | |
| MATERIAL : | Para Mezclas Asfálticas en Caliente. | | | | |
| CANTERA : | Tres Tomas. | | | | |
| FECHA: | 16/07/2014 | | | | |
| PESO POR METRO CUBICO SUELTO | | | | | |
| PESO MOLDE + MATERIAL | PESO DEL MOLDE | PESO DEL MATERIAL | VOLUMEN DEL MOLDE | PESO X M ³ | PROMEDIO |
| 13185 | 10526 | 2659 | 2125 | 1251 | |
| 13145 | 10526 | 2619 | 2125 | 1232 | |
| | | | | | 1242 |
| PESO POR METRO CUBICO COMPACTADO | | | | | |
| PESO MOLDE + MATERIAL | PESO DEL MOLDE | PESO DEL MATERIAL | VOLUMEN DEL MOLDE | PESO X M ³ | PROMEDIO |
| 14252 | 10125 | 4127 | 2920 | 1413 | |
| 14363 | 10125 | 4238 | 2920 | 1451 | |
| | | | | | 1432 |
| OBSERVACIONES : | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

Tabla N° 42

| RESISTENCIA DE ABRASION | | | | |
|--------------------------------------|---|---|--|--|
| AASHTO - T - 96 - MTC - E 207 | | | | |
| TESIS | : | "Propuesta de Diseño de Mezclas Asfálticas con Adiciones de PET". | | |
| ALUMNO | : | José Martin Navarro Jiménez. | | |
| ASESOR | : | Ing. Nrpton David Ruiz Saavedra. | | |
| MATERIAL | : | Para Mezclas Asfálticas en Caliente. | | |
| CANTERA | : | Tres Tomas | | |
| FECHA | : | 16/07/2014 | | |
| MUESTRA N° | | 1 | | |
| GRADUACION | | "A" | | |
| PESO MUESTRA | | 5000 | | |
| 1 1/2" - 1" | | | | |
| 1" - 3/4" | | | | |
| 3/4" - 1/2" | | 2500 | | |
| 1/2" - 3/8" | | 2500 | | |
| 3/8" - 1/4" | | | | |
| 1/4" - N° 4 | | | | |
| N°4 - N° 8 | | | | |
| Total Desgaste | | 852 | | |
| Ret. N° 12 | | | | |
| 500 Vueltas | | | | |
| Ret. N° 12 | | 4148 | | |
| % Desgaste | | 17.04% | | |
| PROMEDIO | | 17.04 | | |
| OBSERVACIONES : | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Tabla N° 43

| PARTICULAS CON UNA Y DOS CARAS DE FRACTURA | | | | | | | |
|---|---|------------|------------|--------------------|------------|------------|--------------|
| MTC-E 210 - ASTM - D5821 | | | | | | | |
| TESIS | "Propuesta de Diseño de Mezclas Asfálticas con Adiciones de PET". | | | | | | |
| ALUMNO: | José Martín Navarro Jiménez. | | | | | | |
| ASESOR | Ing. Nepton David Ruiz Saavedra. | | | | | | |
| MATERIAL : | Para Mezclas Asfálticas en Caliente. | | | | | | |
| CANTERA : | Tres Tomas. | | | | | | |
| FECHA : | 16/07/2014 | | | | | | |
| A CON UNA CARA FRACTURADA | | | | | | | |
| TAMAÑO DEL AGREGADO | | | | | | | |
| PASA | RETENIDO | A | B | C | D | E | |
| TAMIZ | TAMIZ | (g) | (g) | ((b/A)*100) | (%) | C*D | |
| 1 1/2" | 1" | 2000 | 0 | 0.00 | 0.000 | 0.0 | |
| 1" | 3/4" | 1500 | 0 | 0.00 | 0.000 | 0.0 | |
| 3/4" | 1/2" | 1400 | 1065 | 76.07 | 0.626 | 47.7 | |
| 1/2" | 3/8" | 300 | 363 | 121.00 | 0.214 | 25.8 | |
| | | 1700 | | | 0.840 | 73.49 | |
| PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA | | | | | : | % | 87.49 |
| B CON DOS CARAS FRACTURADAS | | | | | | | |
| TAMAÑO DEL AGREGADO | | | | | | | |
| PASA | RETENIDO | A | B | C | D | E | |
| TAMIZ | TAMIZ | (g) | (g) | ((b/A)*100) | (%) | C*D | |
| 1 1/2" | 1" | | 0 | 0.00 | 0.000 | 0.0 | |
| 1" | 3/4" | | 0 | 0.00 | 0.000 | 0.0 | |
| 3/4" | 1/2" | 1200 | 991.0 | 82.58 | 0.661 | 54.6 | |
| 1/2" | 3/8" | 300 | 254.0 | 84.67 | 0.169 | 14.3 | |
| | | 1500 | | | 0.830 | 68.90 | |
| PORCENTAJE CON DOS CARAS FRACTURADAS | | | | | : | % | 83.01 |
| Observaciones | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Tabla N° 44

| DETERMINACION DE LA SAL | | | | | | |
|--------------------------------|---|--|--|--------|--------|--|
| MTC - E219 - 2000 | | | | | | |
| TESIS | : "Propuesta de Diseño de Mezclas Asfálticas con Adiciones de PET". | | | | | |
| ALUMNO | : José Martin Navarro Jiménez. | | | | | |
| ASESOR | : Ing. Nepton David Ruiz Saavedra | | | | | |
| CANTERA | : Tres Tomas. | | | | | |
| MATERIAL | : Para Mezclas Asfálticas en Caliente | | | | | |
| FECHA | : 16/07/2014 | | | | | |
| MUESTRA | | | | M1 | M2 | |
| (1) PESO DEL TARRO | | | | 96.66 | 42.34 | |
| (2) PESO TARRO + AGUA + SAL | | | | 187.88 | 185.47 | |
| (3) PESO TARRO SECO + SAL | | | | 96.68 | 42.37 | |
| (4) PESO SAL (3 - 1) | | | | 0.02 | 0.03 | |
| (5) PESO AGUA (2 - 3) | | | | 91.20 | 143.10 | |
| (6) PORCENTAJE DE SAL | | | | 0.022% | 0.021% | |
| PROMEDIO | | | | 0.022% | | |

Tabla N° 45

DURABILIDAD

| ENSAYO DE DURABILIDAD | | | | INALTERABILIDAD DE | | | |
|--|--------------------|---|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|--|
| ARIDOS POR EL | | | | USO DE SULFATOS DE | | | |
| MAGNESIO | | | | METODO : AASHTO T-104 | | | |
| TESIS | : | "Propuesta de Diseño de Mezclas Asfálticas con Adiciones de PET". | | | | | |
| ALUMNO | : | José Martín Navarro Jiménez. | | | | | |
| ASESOR | : | Ing. Nepton David Ruiz Saavedra. | | | | | |
| CANTERA | : | Tres Tomas. | | | | | |
| MATERIAL | : | Para Mezclas Asfálticas en Caliente. | | | | | |
| FECHA | : | 16/07/2014 | | | | | |
| DURABILIDAD DEL AGREGADO FINO EN SOLUCION DE MgSO₄ | | | | | | | |
| T. de MALLAS Pasa Ret. | Escala de Orig. | Peso de Fracción Original | Peso de Fracción desp. de Ensayo | Pérdida desp. de Ensayo | % Pérdida desp. de Ensayo | % de Pérdida Corregidas | |
| 3/8" N° 4 | 15.20 | 100 | 82.0 | 18.0 | 18.00 | 2.74 | |
| N° 4 N° 8 | 20.63 | 100 | 94.2 | 5.8 | 5.80 | 1.20 | |
| N° 8 N° 16 | 17.52 | 100 | 94.5 | 5.5 | 5.50 | 0.96 | |
| N° 16 N° 30 | 18.01 | 100 | 92.3 | 7.7 | 7.70 | 1.39 | |
| N° 30 N° 50 | 22.32 | 100 | 94.8 | 5.2 | 5.20 | 1.16 | |
| N° 50 N° 100 | 6.32 | 100 | 95.3 | 4.7 | 4.70 | 0.30 | |
| N° 100 | | | | | | | |
| TOTALES | 100.00 | | | | | 7.74 | |
| DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO EN SOLUCION DE MgSO₄ | | | | | | | |
| T. de MALLAS | Escala de Orig. | Peso de Fracción Original | Peso de Fracción 1147 | Pérdida desp. de Ensayo | % Pérdida desp. de Ensayo | % de Pérdida Corregidas | |
| 2" 1 1/2" | | 1500 | | | | | |
| 1 1/2" 1" | | 1050 | | | | | |
| 1" 3/4" | | 450 | | | | | |
| 3/4" 1/2" | 41.36 | 670 | 625.00 | 45.00 | 6.72 | 2.78 | |
| 1/2" 3/8" | 41.36 | 330 | 312.00 | 18.00 | 5.45 | 2.26 | |
| 3/8" 4" | 17.28 | 300 | 241.00 | 59.00 | 19.67 | 3.40 | |
| TOTALES | 100.00 | | | | | 8.43 | |

Tabla N° 46

IMPUREZAS ORGÁNICAS

| | | | |
|---|---|--|--------|
| TESIS | : "Propuesta de Diseño de Mezclas Asfálticas con Adiciones de PET". | | |
| ALUMNO | José Martin Navarro Jiménez. | | |
| ASESOR | Ing. Nepton David Ruiz Saavedra. | | |
| CANTERA | Tres Tomas. | | |
| MATERIAL | : Para Mezclas Asfálticas en Caliente. | | |
| FECHA | : 17/07/2014 | | |
| CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA | | | |
| ASTM D - 1889 | | | |
| MTC - E - 203 | | | |
| AASHTO T 267 | | | |
| TEMPERATURA DE SECADO °C | : 110° | | |
| TEMPERATURA DE IGNITION °C | : 445° | | |
| RECIPIENTE N° | | | 125 |
| A. PESO MUESTRA + TARA ANTES IGNITION | | | 285.30 |
| B. PESO MUESTRA + TARA DESPUES DE LA IGNITION | | | 284.70 |
| C. PESO DE LA TARA | | | 17.60 |
| % CONTENIDO ORGANICO : | $\frac{A - B}{A - C} \times 100$ | | 0.22 |
| OBSERVACIONES : | | | |
| AGREGADO FINO | | | |

Tabla N° 47

ADHERENCIA

| | | | |
|---|---|------------------------|--------------------------------|
| TESIS | : "Propuesta de Diseño de Mezclas Asfálticas con Adiciones de PET". | | |
| ALUMNO | : José Martin Navarro Jiménez. | | |
| ASESOR | : Ing. Nepton David Ruiz Saavedra. | | |
| MATERIAL | : Para Mezclas Asfálticas en Caliente. | | |
| CANTERA | : Tres Tomas. | | |
| FECHA | : 16/07/2014 | | |
| ENSAYO DE ADHERENCIA (PIEDRA) | | | |
| ASSHTO 182 MTC E 519.M. D - 1664 | | | |
| | CHANCADORA | Tipo de Asfalto | Revestimiento (%) |
| | | | Aditivo Sin Aditivo |
| | OLANO SAC | CRS - 03 | +95 |
| ENSAYO DE ADHERENCIA (ARENA) | | | |
| RIEDEL WEBER D.E.E - MA8 | | | |
| ARENA NATURAL PARA ASFALTO | | | |
| | CANTERA | Tipo de Asfalto | Aditivo (%) Sin aditivo |
| | | | Grado |
| | | | |
| Observación | : | | |

Tabla N° 48

PARTÍCULAS DE PLÁSTICO RECICLADO - PET

| | | | | | |
|-----------------------|------------|---|-------------------------|--|--|
| TESIS | : | "Propuesta de Diseño de Mezclas Asfálticas con Adiciones de PET". | | | |
| ALUMNO | : | José Martín Navarro Jiménez. | | | |
| ASESOR | : | Ing. Nepton David Ruiz Saavedra. | | | |
| MATERIAL | : | Para Mezclas Asfálticas en Caliente. | | | |
| CANTERA | : | Tres Tomas. | | | |
| FECHA | : | 16/07/2014 | | | |
| | | | | | |
| Abertura Malla | | Peso Retenido | Especificaciones | PESO DE LA MUESTRA ANALIZADA : 500 gr | |
| Pulg. | mm. | | | | |
| 3" | 76.20 | 0.00 | | L.L. | |
| 2 1/2" | 63.50 | 0.00 | | L.P. | |
| 2" | 50.80 | 0.00 | | | |
| 1 1/2" | 38.10 | 0.00 | | | |
| 1" | 25.40 | 0.00 | | CLASIFICACION: | |
| 3/4" | 19.05 | 0.00 | | SUCS : | |
| 1/2" | 12.70 | 0.00 | | AASHTO: | |
| 3/8" | 9.53 | 0.00 | | | |
| 1/4" | 6.35 | 0.00 | | | |
| N° 04 | 4.76 | 0.00 | | SI EL DIAMETRO DEL MATERIAL > 3" COLOCAR | |
| N° 08 | 2.38 | 75.26 | | EL N° 100 EN EL RECUAD | |
| N° 10 | 2.00 | 0.00 | | | |
| N° 16 | 1.19 | 187.13 | | | |
| N° 20 | 0.84 | 0.00 | | Humedad Natural | |
| N° 30 | 0.59 | 164.90 | | | |
| N° 40 | 0.42 | 0.00 | | | |
| N° 50 | 0.30 | 58.00 | | | |
| N° 80 | 0.18 | 0.00 | | | |
| N° 100 | 0.15 | 11.66 | | | |
| N° 200 | 0.07 | 2.30 | | | |
| <N° 200 | 0.050 | 0.75 | | | |
| TOTAL | | 500.00 | gr. | | |

3.2. ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS AGREGADOS

3.2.1. Análisis y Resultados.

Los resultados que se da a conocer están basados bajo un análisis técnico y conciso, donde detallaremos datos porcentuales traducidos en kg, donde definiremos las dimensiones y granulometría de las partículas de polímeros PET para el diseño de la mezcla. La interpretación de dichos resultados tiene como objetivo definir las proposiciones de agregados y PPR a utilizar en el diseño de mezclas. Así evaluar el porcentaje de variación de cantidad de agregados fino y grueso respecto a la mezcla asfáltica tradicional. Establecer las condiciones y limitaciones de uso de PPR (PET) en la mezcla asfáltica.



Foto N° 56

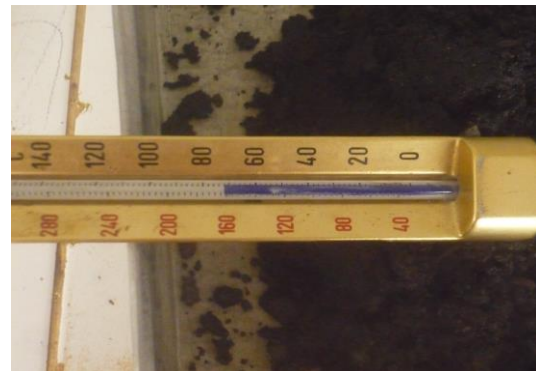


Foto N° 57

Fuente: Laboratorio de Mecánica de suelos Arrunátegui

3.2.2. Evaluación: Porcentaje De Arena + Piedra + PEN 60/70, y Sin Adición de PET

Para estos ensayos se utilizó una muestra de 1500 kg.

Ensayo N° 01: PEN 60/70 AL 4.5 %

| DESCRIPCION | DATOS % | TOTAL % | PESO |
|------------------|------------|---------|---------|
| ARENA | 60 | 57.30 | 859.50 |
| PIEDRA | 40 | 38.20 | 573.00 |
| PEN 60/70 | 4.5 | 4.50 | 67.50 |
| PET | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| TOTAL | 100.0 | 100.00 | 1500.00 |

Tabla N° 49

Ensayo N° 02: PEN 60/70 AL 5.0 %

| DESCRIPCION | DATOS % | TOTAL % | PESO |
|------------------|------------|---------|---------|
| ARENA | 60 | 57.00 | 855.00 |
| PIEDRA | 40 | 38.00 | 570.00 |
| PEN 60/70 | 5.0 | 5.00 | 75.00 |
| PET | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| TOTAL | 100 | 100.00 | 1500.00 |

Tabla N° 50

Ensayo N° 03: PEN 60/70 AL 5.5 %

| DESCRIPCION | DATOS % | TOTAL % | PESO |
|------------------|------------|---------|---------|
| ARENA | 60 | 56.70 | 850.50 |
| PIEDRA | 40 | 37.80 | 567.00 |
| PEN 60/70 | 5.5 | 5.50 | 82.50 |
| PET | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| TOTAL | 100 | 100.00 | 1500.00 |

Tabla N° 51

Ensayo N° 04: PEN 60/70 AL 6.0 %

| DESCRIPCION | DATOS % | TOTAL % | PESO |
|--------------------|----------------|----------------|-------------|
| ARENA | 60 | 56.40 | 846.00 |
| PIEDRA | 40 | 37.60 | 564.00 |
| PEN 60/70 | 6.0 | 6.00 | 90.00 |
| PET | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| TOTAL | 100 | 100.00 | 1500.00 |

Tabla N° 52

Ensayo N° 05: PEN 60/70 AL 6.5 %

| DESCRIPCION | DATOS % | TOTAL % | PESO |
|--------------------|----------------|----------------|-------------|
| ARENA | 60 | 56.10 | 841.50 |
| PIEDRA | 40 | 37.40 | 561.00 |
| PEN 60/70 | 6.5 | 6.50 | 97.50 |
| PET | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| TOTAL | 100 | 100.00 | 1500.00 |

Tabla N° 53

3.2.3. Evaluación: Porcentaje De Arena + Piedra + PEN 60/70 + QUIMIBOM SUIZA, Sin Adición de PET

Ensayo N° 01: PEN 60/70 AL 4.5 % + QUIMIBOM AL 1.0 %

| DESCRIPCION | PORCENTAJE % | TOTAL % | PESO gr |
|------------------|--------------|---------|---------|
| ARENA | 60 | 56.70 | 850.50 |
| PIEDRA | 40 | 37.80 | 567.00 |
| PEN 60/70 | 4.5 | 4.50 | 67.50 |
| QUIMIBOM | 1.0 | 1.00 | 67.50 |
| PET | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| TOTAL | 100 | 100.00 | 1500.00 |

Tabla N° 54

Ensayo N° 02: PEN 60/70 AL 5.0 % + QUIMIBOM AL 1.5 %

| DESCRIPCION | PORCENTAJE % | TOTAL % | PESO gr |
|------------------|--------------|---------|---------|
| ARENA | 60 | 56.10 | 841.50 |
| PIEDRA | 40 | 37.40 | 561.00 |
| PEN 60/70 | 5.0 | 5.00 | 75.00 |
| QUIMIBOM | 1.5 | 1.50 | 112.50 |
| PET | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| TOTAL | 100 | 100.00 | 1500.00 |

Tabla N° 55

Ensayo N° 03: PEN 60/70 AL 5.5 % + QUIMIBOM AL 2.0 %

| DESCRIPCION | PORCENTAJE % | TOTAL % | PESO gr |
|------------------|--------------|---------|---------|
| ARENA | 60 | 55.50 | 832.50 |
| PIEDRA | 40 | 37.00 | 555.00 |
| PEN 60/70 | 5.5 | 5.50 | 82.50 |
| QUIMIBOM | 2.0 | 2.00 | 165.00 |
| PET | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| TOTAL | 100 | 100.00 | 1500.00 |

Tabla N° 56

Ensayo N° 04: PEN 60/70 AL 6.0 % + QUIMIBOM AL 2.5 %

| DESCRIPCION | PORCENTAJE % | TOTAL % | PESO gr |
|--------------------|---------------------|----------------|----------------|
| ARENA | 60 | 54.90 | 823.50 |
| PIEDRA | 40 | 36.60 | 549.00 |
| PEN 60/70 | 6.0 | 6.00 | 90.00 |
| QUIMIBOM | 2.5 | 2.50 | 225.00 |
| PET | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| TOTAL | 100 | 100.00 | 1500.00 |

Tabla N° 57

Ensayo N° 05: PEN 60/70 AL 6.5 % + QUIMIBOM AL 3.0 %

| DESCRIPCION | PORCENTAJE % | TOTAL % | PESO gr |
|--------------------|---------------------|----------------|----------------|
| ARENA | 60 | 54.30 | 814.50 |
| PIEDRA | 40 | 36.20 | 543.00 |
| PEN 60/70 | 6.5 | 6.50 | 97.50 |
| QUIMIBOM | 3.0 | 3.00 | 292.50 |
| PET | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| TOTAL | 100 | 100.00 | 1500.00 |

Tabla N° 58

3.2.4. Evaluación: Porcentaje De Arena + Piedra + PEN 60/70 + QUIMIBOM SUIZA + Adición de PET

Ensayo N° 01: PEN 60/70 AL 4.5 % + QUIMIBOM AL 1.0 % + PET 0.5%

| DESCRIPCION | DATOS % | TOTAL % | PESO gr |
|------------------|------------|---------|---------|
| ARENA | 65 | 61.10 | 916.50 |
| PIEDRA | 35 | 32.90 | 493.50 |
| QUIMIBOM | 1.0 | 1.00 | 67.50 |
| PEN 60/70 | 4.5 | 4.50 | 67.50 |
| PET | 0.5 | 0.50 | 33.75 |
| TOTAL | 100 | 100.00 | 1500.00 |

Tabla N° 59

Ensayo N° 02: PEN 60/70 AL 5.0 % + QUIMIBOM AL 1.0 % + PET 1.0%

| DESCRIPCION | DATOS % | TOTAL % | PESO gr |
|------------------|------------|---------|---------|
| ARENA | 65 | 60.45 | 906.75 |
| PIEDRA | 35 | 32.55 | 488.25 |
| QUIMIBOM | 1.0 | 1.00 | 75.00 |
| PEN 60/70 | 5.0 | 5.00 | 75.00 |
| PET | 1.0 | 1.00 | 75.00 |
| TOTAL | 100 | 100.00 | 1500.00 |

Tabla N° 60

Ensayo N° 03: PEN 60/70 AL 5.5 % + QUIMIBOM AL 1.0 % + PET 1.5%

| DESCRIPCION | DATOS % | TOTAL % | PESO gr |
|------------------|------------|---------|---------|
| ARENA | 65 | 59.80 | 897.00 |
| PIEDRA | 35 | 32.20 | 483.00 |
| QUIMIBOM | 1.0 | 1.00 | 82.50 |
| PEN 60/70 | 5.5 | 5.50 | 82.50 |
| PET | 1.5 | 1.50 | 123.75 |
| TOTAL | 100 | 100.00 | 1500.00 |

Tabla N° 61

Ensayo N° 04: PEN 60/70 AL 6.0 % + QUIMIBOM AL 1.0 % + PET 2.0%

| DESCRIPCION | DATOS % | TOTAL % | PESO gr |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|
| ARENA | 65 | 59.15 | 887.25 |
| PIEDRA | 35 | 31.85 | 477.75 |
| QUIMIBOM | 1.0 | 1.00 | 90.00 |
| PEN 60/70 | 6.0 | 6.00 | 90.00 |
| PET | 2.0 | 2.00 | 180.00 |
| TOTAL | 100 | 100.00 | 1500.00 |

Tabla N° 62

Ensayo N° 05: PEN 60/70 AL 6.5 % + QUIMIBOM AL 1.0 % + PET 2.5%

| DESCRIPCION | DATOS % | TOTAL % | PESO gr |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|
| ARENA | 65 | 58.50 | 877.50 |
| PIEDRA | 35 | 31.50 | 472.50 |
| QUIMIBOM | 1.0 | 1.00 | 97.50 |
| PEN 60/70 | 6.5 | 6.50 | 97.50 |
| PET | 2.5 | 2.50 | 243.75 |
| TOTAL | 100 | 100.00 | 1500.00 |

Tabla N° 63

3.2.5. Evaluación: Porcentaje De Arena + Piedra + PEN 60/70 + Adición de PET

Ensayo N° 01: PEN 60/70 AL 4.5 % + PET 0.3%

| DESCRIPCION | DATOS % | TOTAL % | PESO gr |
|------------------|------------|---------|---------|
| ARENA | 65 | 61.88 | 928.20 |
| PIEDRA | 35 | 33.32 | 499.80 |
| QUIMIBOM | 0 | 0.00 | 0.00 |
| PEN 60/70 | 4.5 | 4.50 | 67.50 |
| PET | 0.3 | 0.30 | 20.25 |
| TOTAL | 100 | 100.00 | 1500.00 |

Tabla N° 64

Ensayo N° 02: PEN 60/70 AL 5.0 % + PET 0.3%

| DESCRIPCION | DATOS % | TOTAL % | PESO gr |
|------------------|------------|---------|---------|
| ARENA | 65 | 61.56 | 923.33 |
| PIEDRA | 35 | 33.15 | 497.18 |
| QUIMIBOM | 0 | 0.00 | 0.00 |
| PEN 60/70 | 5.0 | 5.00 | 75.00 |
| PET | 0.3 | 0.30 | 22.50 |
| TOTAL | 100 | 100.00 | 1500.00 |

Tabla N° 65

Ensayo N° 03: PEN 60/70 AL 5.5 % + PET 0.3%

| DESCRIPCION | DATOS % | TOTAL % | PESO gr |
|------------------|------------|---------|---------|
| ARENA | 65 | 61.23 | 918.45 |
| PIEDRA | 35 | 32.97 | 494.55 |
| QUIMIBOM | 0 | 0.00 | 0.00 |
| PEN 60/70 | 5.5 | 5.50 | 82.50 |
| PET | 0.3 | 0.30 | 24.75 |
| TOTAL | 100 | 100.00 | 1500.00 |

Tabla N° 66

Ensayo N° 04: PEN 60/70 AL 6.0 % + PET 0.3%

| DESCRIPCION | DATOS % | TOTAL % | PESO gr |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|
| ARENA | 65 | 60.91 | 913.58 |
| PIEDRA | 35 | 32.80 | 491.93 |
| QUIMIBOM | 0 | 0.00 | 0.00 |
| PEN 60/70 | 6.0 | 6.00 | 90.00 |
| PET | 0.3 | 0.30 | 27.00 |
| TOTAL | 100 | 100.00 | 1500.00 |

Tabla N° 67

Ensayo N° 05: PEN 60/70 AL 6.5 % + PET 0.3%

| DESCRIPCION | DATOS % | TOTAL % | PESO gr |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|
| ARENA | 65 | 60.58 | 908.70 |
| PIEDRA | 35 | 32.62 | 489.30 |
| QUIMIBOM | 0 | 0.00 | 0.00 |
| PEN 60/70 | 6.5 | 6.50 | 97.50 |
| PET | 0.3 | 0.30 | 29.25 |
| TOTAL | 100 | 100.00 | 1500.00 |

Tabla N° 68

3.2.6. Evaluación: Porcentaje Aditivo Mejorado QUIMIBOM SUIZA

El porcentaje del QUIMIBOM dependerá del porcentaje del PEN.

Ensayo N° 01: ADITIVO 1% = PEN 60/70 AL 4.5%

| DESCRIPCION | DATOS % | TOTAL % | PESO gr |
|-------------|---------|---------|---------|
| QUIMIBOM | 1 | 1.00 | 67.50 |
| PEN 60/70 | 4.5 | 4.50 | 67.50 |

Tabla N° 69

Ensayo N° 02: ADITIVO 1% = PEN 60/70 AL 5.0%

| DESCRIPCION | DATOS % | TOTAL % | PESO gr |
|-------------|---------|---------|---------|
| QUIMIBOM | 1 | 1.00 | 75.00 |
| PEN 60/70 | 5.0 | 5.00 | 75.00 |

Tabla N° 70

Ensayo N° 03: ADITIVO 1% = PEN 60/70 AL 5.5%

| DESCRIPCION | DATOS % | TOTAL % | PESO gr |
|-------------|---------|---------|---------|
| QUIMIBOM | 1 | 1.00 | 82.50 |
| PEN 60/70 | 5.5 | 5.50 | 82.50 |

Tabla N° 71

Ensayo N° 04: ADITIVO 1% = PEN 60/70 AL 6.0%

| DESCRIPCION | DATOS % | TOTAL % | PESO gr |
|-------------|---------|---------|---------|
| QUIMIBOM | 1 | 1.00 | 90.00 |
| PEN 60/70 | 6.0 | 6.00 | 90.00 |

Tabla N° 72

Ensayo N° 05: ADITIVO 1% = PEN 60/70 AL 6.5%

| DESCRIPCION | DATOS % | TOTAL % | PESO gr |
|-------------|---------|---------|---------|
| QUIMIBOM | 1 | 1.00 | 97.50 |
| PEN 60/70 | 6.5 | 6.50 | 97.50 |

Tabla N° 73

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN

4.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

1. Según **Las Tablas de Evaluación: Porcentaje De Arena + Piedra + PEN 60/70 + Adición de PET**, nos demuestra que los agregados se encuentran fuera del rango de las especificaciones técnicas que plantea el MTC.
2. En el ensayo de **Evaluación: Porcentaje De Arena + Piedra + PEN 60/70, y Sin Adición de PET**, se observa que el PET reacciona factiblemente en primera instancia con los agregados, pero en bajo porcentaje, sorpresa fue cuando en el momento de los 110 golpes dadas a las briquetas, estas sufren una desintegración, la cual conduce a un experimento fallido.
3. Dados los ensayos y los resultados no óptimos para una propuesta experimental, se prescribe de manera rotunda que el PET no es apto para el diseño de mezclas asfálticas.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Los resultados que se da a conocer están basados bajo un Análisis Técnico, se detalla datos porcentuales traducidos en kg, donde se define las dimensiones y granulometría de las partículas de polímeros PET para el diseño de la mezcla. La interpretación de dichos resultados tiene como objetivo dar a conocer las proposiciones de agregados y PPR a utilizar en el diseño de mezclas. Así evaluar el porcentaje de variación de cantidad de agregados fino y grueso respecto a la mezcla asfáltica tradicional. Se establece las condiciones y limitaciones de uso de **PPR (PET)** en la mezcla asfáltica, basado en las siguientes conclusiones:

Las Partículas de Plásticos Reciclable (PET), como adicional para el Diseño de Mezclas Asfálticas influyen positivamente para un determinado Flujo Vehicular.

Esto quiere decir que la presente Propuesta de Diseño solo es Factible para un Tránsito Liviano, ya que tras varios ensayos y resultados en el Laboratorio de Suelos se concluye lo siguiente:

El **POLIESTER PET** es un material rápido de reducirse en el calor, a pesar que sus características químicas nos refiere que su punto de fusión es de **260 °C**, el cual no permitirá diluirlo y fusionarlo de manera independiente con el PEN. Ya que calentando a **80 °C** en un tiempo de **2 minutos** el **PET**, se solidifica mostrando una color marrón oscuro y semigelatinoso. Por ende solo el material puede ser diluido con PET pasado por la **malla N°40**. Es decir se calienta y mezclan los agregados en una fuente cuyos porcentajes son: **65% de arena** y **35% piedra**, porcentajes que disminuirán al agregarle el **PEN 60/70** y el **PET**. Mientras se realiza esto en otra fuente se calienta el cemento Asfáltico con porcentajes variables desde **4.5% hasta 6.5%**, hasta convertirlo en líquido

ya diluido se procede a agregar el **PET** cuyo porcentaje para este tipo de diseño será entre **0.3% y 0.5%** (malla N°40) ya que si le damos **1% de PET**, el PEN pierde sus textura, propiedades y lo solidifica rápidamente formando una bola. Por consiguiente agregamos el PET amasamos y lo echamos a los agregados. En mi caso manualmente se amasó la Mezcla Asfáltica por un tiempo de hora = 1 ½, teniendo en cuenta que la mezcla debe tener una temperatura de **160 °C**, el cual se mantuvo controlando con el **Termómetro Asfáltico**. Cabe acotar que mientras se hace este procedimiento el Curado Adherente QUIMIBOM SUIZA, se va agregando, su aporte en porcentaje dependerá del porcentaje del **PEN** y el cual se trabaja independientemente a la Mezcla Asfáltica, con el fin de obtener un mejor resultado.

Conformada la mezcla Asfáltica, procedemos al ensayo **MARSHALL**, tomando un molde o testigo y con la ayuda de un cucharón echamos la mezcla al testigo considerando que sus paredes debe zarandearse para evitar que durante la compactación se produzcan cangrejeras, se forman tres capas para luego dar golpes con un mazo metálico de 1.5 m, en nuestro caso tomaremos del ensayo **50 golpes**, para ambos lados el cual sería 100 golpes. Al referirnos 50 golpes damos a entender que el análisis de dicho ensayo es para **Tráfico Liviano**, esto según las **ESPECIFICACIONES**. Obteniendo un **Factor de Estabilidad** será **10.25 KN** (Especificación la **ESTABILIDAD Mínima es 5.34 KN**) y el **Flujo será de 540 Kg** (Especificación **Flujo 544 Kg**) por lo que se concluye que el uso del PET, se limita para el Diseño de Mezclas Asfálticas para Pavimentos de Tránsitos Livianos (taxis, moto taxis), Pasajes, Calles Secundarias, entre otros. Ya que la Mezcla con PET aumenta su volumen pero reduce su Estabilidad y Flujo, para un determinado Uso.

5.2. Recomendaciones

Esta Propuesta de Diseño, el aspecto académico y profesional es de gran importancia porque nos permite ampliar nuestro conocimiento y estudiar nuestras tendencias o disposiciones en el campo de la construcción de pavimentos, haciendo uso de nuevos agregados, aditivos o cualquier otro material no convencional que proporcionen mejoras en la elaboración, colocación y desempeño de las mezclas asfálticas alcanzado un alto grado de Estabilidad, Durabilidad, Flexibilidad, Resistencia a la Fatiga y Resistencia al Desplazamiento.

Así mismo este estudio hace un llamado a aquellas entidades públicas o privadas, a no dejar pasar por alto ni menospreciar la importancia de este material, ya que su uso como aporte a la Ingeniería propone el uso de una mejor alternativa que permitirá ampliar su vida útil y ahorrar considerables suma de dinero que se utilizan en su mejoramiento y rehabilitación.

Es otro aspecto el estudio de Elaboración de Mezclas Asfálticas con Adiciones de PET, es de gran valor ya que permite fomentar la cultura del reciclaje principalmente el Plástico, el cual mejora nuestra calidad de vida y permitirá la conservación de nuestro ambiente, el ahorro de materias primas y de energía, mitigando así los impactos ambientales negativos ocasionados por este tipo de desperdicios y desarrollando una ingeniería de caminos sostenibles y factible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anónimo. (2012). Recuperado el 2017, de SlideShare: https://es.slideshare.net/KAREN_23/problemtica-de-la-infraestructura-vial-en-el-per
- Borja, M. (2011). Recuperado el 2017, de Nuevos pavimentos urbanos para Chiclayo: <https://ingenieriaactual.wordpress.com/2011/10/25/nuevos-pavimentos-para-chiclayo/>
- Chávez, J. M., & Herna, E. B. (2014). Elaboracion de mezclas asfálticas con particulas de caucho reciclado en el departamento de Lambayeque. Tesis para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil, Universidad Señor de Sipán, Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo, Pimentel, Perú. Obtenido de <http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/uss/1112/1/INGENIERIA%20CIVIL.pdf>
- Fuentes, E. G., González, M. P., López, R., Gutiérrez, J. I., & González, J. R. (julio - septiembre de 2012). Mecanismos de degradación térmica y catalítica de poliestireno bajo condiciones de hidrocraqueo. Avances en Ciencias e Ingeniería, III(03), 69 - 82. Obtenido de http://www.exeedu.com/publishing.cl/av_cienc_ing/2012/Vol3/Nro3/8-ACI1112-11-full.pdf
- Medina, V. H. (2003). Aplicaciones de las emulsiones asfálticas y los asfaltos diluidos en mezclas asfálticas en frío utilizando agregados del río Aguaytia - Ucayalí. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Lima, Perú. Obtenido de <http://www.catalogo.uni.edu.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=67635>
- Montenegro, M. E., & Valverde, J. A. (2010). Diseño y construcción de un deshumidificador de hojuelas de PET para la extrusora del laboratorio de mecánica de materiales. Proyecto previo a la obtención del título de: Ingeniero Mecánico, Escuela Politécnica del Ejército, Ingeniería Mecánica, Sangolquí,

Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2419/1/T-ESPE-027480.pdf>

Padilla, A. (2004). Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. Obtenido de <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3334>

Rivera, R. (2004). Propuesta de reciclaje mecánico de plásticos en la ciudad de Piura. Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial y de Sistemas, Universidad de Piura, Área Departamental de Ciencias de la Ingeniería, Piura, Perú. Obtenido de http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_63_186_28_558.pdf

RT. (2015). Recuperado el 2017, de RT Actualidad: <https://actualidad.rt.com/actualidad/177334-paises-america-latina-mejores-peores-carreteras>

Yepes, V. (2014). Recuperado el 2017, de Apuntes de la Universitat Politècnica de València: <http://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es/category/equipos-para-compactacion-y-ejecucion-de-firmes/instalaciones-para-la-fabricacion-de-aglomerado-asfaltico/>