



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON POLÍMEROS
RECICLADOS**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

21441243

ALEJANDRO HAWITH GARCÍA

21441077

CRISTHIAN DAVID RAMOS LÓPEZ

21441069

DAVID EDUARDO MORÁN ANDRADE

ASESOR: ING. ELVIN ROY HERNÁNDEZ

CAMPUS SAN PEDRO SULA

OCTUBRE, 2018

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

RECTOR:

MARLON ANTONIO BREVÉ REYES

VICEPRESIDENTE DE OPERACIONES:

ANA LAFFITE

SECRETARIO GENERAL:

ROGER MARTÍNEZ MIRALDA

VICERRECTORA CAMPUS SAN PEDRO SULA

CARLA MARÍA PANTOJA ORTEGA

COORDINADOR CARRERA INGENIERÍA CIVIL

HÉCTOR WILFREDO PADILLA SIERRA
TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS
EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO

INGENIERO CIVIL

ASESOR METODOLÓGICO

“ING. MICHAEL JOB PINEDA”

ASESOR TEMÁTICO

“ING. ELVIN ROY HERNÁNDEZ”

MIEMBROS DE LA TERNA

DERECHOS DE AUTOR

© COPYRIGHT

ALEJANDRO HAWITH GARCÍA

CRISTHIAN DAVID RAMOS LÓPEZ

DAVID EDUARDO MORÁN ANDRADE

Todos los derechos son reservados

AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS DE GRADO.

Señores

CENTRO DE RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACION (CRAI)

San Pedro Sula

Estimados Señores:

La presentación del documento de tesis forma parte de los requerimientos y procesos establecidos de graduación para alumnos de pregrado de UNITEC.

Nosotros, Alejandro Hawith García, Cristhian David Ramos López y David Eduardo Moran Andrade, de San Pedro Sula autores del trabajo de grado titulado: "Diseño De Mezcla Asfáltica En Caliente Modificada Con Polímeros Reciclados", presentado y aprobado en el año 2018, como requisito para optar al título de Profesional de Ingeniero Civil, autorizo a: Las Bibliotecas de los Centros de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI) de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), para que, con fines académicos, pueda libremente registrar, copiar y usar la información contenida en él, con fines educativos, investigativos o sociales de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en la sala de estudio de la biblioteca y la página Web de la universidad.

Permita la consulta y la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

De conformidad con lo establecido en el artículo 19 de la Ley de Derechos de Autor y de los Derechos Conexos; los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. Es entendido que cualquier copia o reproducción del presente documento con fines de lucro no está permitida sin previa autorización por escrito de parte de los principales autores.

En fe de lo cual, se suscribe la presente acta en la ciudad de San Pedro Sula en el mes de octubre del dos mil dieciocho.

Alejandro Hawith García

21441243

Cristhian Ramos López

21441077

David Morán Andrade

21441069

HOJA DE FIRMAS

Los abajo firmantes damos fe, en nuestra posición de miembro de Terna, Asesor y/o Jefe Académico y en el marco de nuestras responsabilidades adquiridas, que el presente documento cumple con los lineamientos exigidos por la Facultad de Ingeniería y Arquitectura y los requerimientos académicos que la Universidad dispone dentro de los procesos de graduación.

Ing. Michael Pineda

Asesor Metodológico

Ing. Roy Hernández

Asesor Temático

Ing. Coordinador de Terna

Ing. Miembro de Terna

Ing. Miembro de Terna

Ing. Héctor Padilla

Jefe Académico de la facultad

de Ingeniería Civil y Arquitectura | UNITEC

DEDICATORIA

Ha sido un largo camino hasta este punto de mi vida donde estoy al borde de culminar mi carrera universitaria, quiero dedicárselo principalmente a Dios por haberme bendecido con grandes oportunidades, a mi papá Allan David Ramos y mi mamá Reina Emelina López por darme el apoyo en todo momento y nunca dejar que me rindiera para lograr mis metas. A mis hermanos, Allan Daniel, Kathia Gissele, y Fabrizio José por estar conmigo a lo largo de este duro trayecto. No quisiera olvidar a mis compañeros de la carrera, los cual tuve la suerte de haberlos conocido en nuestra primera clase y ahora haber llegado hasta aquí y seguir juntos es algo que me llena de orgullo. Gracias a todos.

Cristhian David Ramos

Agradezco primero a Dios por brindarme la oportunidad de poder culminar mi carrera de ingeniería civil, por siempre estar ahí a mi lado dándome sabiduría, las fuerzas y la confianza de desarrollar con éxito cada reto. A mis padres, David Alonso Morán Núñez y Karen Soleni Andrade Paz, por siempre apoyarme, guiarme y aconsejarme. A mis hermanos, David Andrés Morán Andrade y Sarah Esther Morán Andrade, por estar ahí para mi durante todo el proceso. Finalmente quiero agradecer a mis compañeros de carrera, juntos desde el primer día y juntos a el último día, gracias por siempre estar ahí a mi lado, apoyarme y aconsejarme. A todos solo quiero agradecerles por haber formado parte de este reto.

David Eduardo Morán Andrade

Dedico este proyecto de investigación, como símbolo del trabajo y el esfuerzo que he dedicado durante mi vida universitaria, a mi abuela Ela Francisca Rodríguez por su apoyo incondicional a través de mis años y a mi padre Marco Antonio Hawith por ser una inspiración. Además, a todas las personas que han contribuido con sus conocimientos, su tiempo, su amistad, con sus consejos y su apoyo durante el transcurso de la carrera.

Alejandro Hawith

AGRADECIMIENTO

PRODECON

Por su amabilidad, apoyo técnico y patrocinio de materiales. Agradecimiento en especial a el Ing. Marco Gámez, el Ing. Roy Hernández, Mauricio Palma y todo el equipo del laboratorio en el plantel de Concretos Olímpicos.

INVEMA

Por la contribución de los polímeros reciclados e información utilizada en la investigación. Se agradece a Ángela Fajardo por su tiempo y por la información proporcionada.

Facultad de Ingeniería Civil

Por facilitar el contacto con las empresas que colaboraron con la investigación. Además, a la dedicación del personal administrativo, docentes y colaboradores que contribuyen con la formación de futuros profesionales. En especial a el Ing. Héctor Padilla y el Ing. Michael Job Pineda por su apoyo.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de investigación "DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON POLÍMEROS RECICLADOS" tiene como objetivo determinar los efectos de polímeros, específicamente desechos creados por el proceso del reciclaje del plástico en la empresa de reciclaje INVEMA que no tienen utilidad alguna en la sociedad actual, en la mezcla de concreto asfáltico con la finalidad de reducir los desechos en el medio ambiente que dañan el ecosistema de Honduras mediante su uso en la construcción de pavimentos flexibles.

Según la Secretaria de Infraestructura y Servicios Públicos, (INSEP, 2018), Honduras cuenta solamente con un total de 3220 kilómetros de sus carreteras pavimentadas, que equivalen a un 22% del total. Desde el 2017 se ha realizado una inversión superior a 1500 millones de lempiras en la infraestructura vial del país (Lara, 2018). Las APP, Alianzas Publico-Privadas, han sido los principales promotores de inversión en la construcción y mantenimiento de las carreteras del país.

Debido a la incorporación de contaminantes plásticos al ambiente y al crecimiento vial del país se decidió estudiar la factibilidad de la incorporación de residuos del reciclaje plástico en la mezcla asfáltica. La investigación inicia con la sustitución de distintos porcentajes de bitumen por hojuelas de PET, con esto disminuyendo el uso de combustibles fósiles y encontrándole un uso a residuos que generalmente serian calcinados contaminando el ambiente. La sustitución directa significaría un gran ahorro en la mezcla del concreto asfáltico debido a que generalmente son largos tramos de carreteras construidas. Posteriormente se investiga la mezcla asfáltica solo con la incorporación de los polímeros, lo que no favorece mucho económicamente, pero si una mejora en sus aspectos físicos y sus capacidades mecánicas.

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la constructora PRODECON, Profesionales de la Construcción, específicamente en el laboratorio del plantel de Concretos Olímpico. Proporcionando los equipos y materiales necesarios para la elaboración de muestras validas según las normas AASHTO. También se contó con un personal capacitado de laboratoristas los cuales fueron apoyo indispensable en la elaboración de la investigación.

No obstante, los resultados de los experimentos no cumplieron con los requerimientos necesarios para su uso en pavimentos flexibles con altos niveles de tráfico pesado. A pesar de los resultados

negativos para su uso masivo, todavía es factible su uso en infraestructura con menores porcentajes de esfuerzos, como ser ciclovías, parques, aceras, o calles poco transitadas para vehículos livianos.

En conclusión, la investigación de Diseño De Mezcla Asfáltico Modificado Con Polímeros Reciclados, de carácter exploratorio, se llevó a cabo desde el 16 de Julio hasta el 8 de octubre del 2018 tuvo resultados favorables al poder encontrar un uso factible para la construcción de infraestructura en el país.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
2.1. ANTECEDENTES.....	2
2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	4
2.2.1. ENUNCIADO DEL PROBLEMA	4
2.2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
2.3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	5
2.4. OBJETIVOS	5
2.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	5
2.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
2.5. JUSTIFICACIÓN	6
CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO.....	7
3.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	7
3.1.1. ANÁLISIS DEL MACROENTORNO	7
3.1.1.1. Polímeros Y Plástico	7
3.1.1.2. Vías De Comunicación.....	8
3.1.1.3. Asfalto Modificado con Plásticos	9
3.1.2. ANÁLISIS DEL MICROENTORNO	9
3.1.2.1. Vías de Comunicación en Honduras	9
3.1.2.2. Reciclaje de Plástico en Honduras	10
3.1.2.3. Concreto con Plástico Reciclado en Útila.....	11

3.2.	TEORÍAS DE SUSTENTO.....	12
3.2.1.	AASHTO T 166.....	12
3.2.2.	AASHTO T 209.....	13
3.2.3.	AASHTO T 245.....	13
3.2.4.	ASTM D 2041.....	14
3.3.	MARCO CONCEPTUAL	14
3.4	MARCO LEGAL.....	17
3.4.1.	LEY DE COMUNICACIÓN TERRESTRE	17
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA.....		22
4.1.	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	22
4.1.1.	DIAGRAMA DE LAS VARIABLES DE OPERACIONALIZACIÓN	24
4.1.2.	TABLA DE OPERACIONALIZACIÓN.....	24
4.1.3.	HIPÓTESIS.....	26
4.1.3.1	Hipótesis de Investigación.....	26
4.1.3.2	Hipótesis Nula.....	26
4.2.	ENFOQUE Y MÉTODOS	27
4.2.1.	TIPO DE DISEÑO	28
4.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA	29
4.3.1.	POBLACIÓN	29
4.3.2.	TAMAÑO DE LA MUESTRA.....	30
4.3.3.	NOMENCLATURA DE MUESTRAS	30
4.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	31

4.4.1.	TÉCNICAS.....	31
4.4.1.1	Granulometría	31
4.4.1.2	Ensayo Marshall.....	32
4.4.2.	INSTRUMENTOS	37
4.5.	UNIDAD DE ANÁLISIS Y RESPUESTA.....	38
4.5.1.	UNIDAD DE ANÁLISIS.....	39
4.5.2.	UNIDAD DE RESPUESTA	39
4.6.	MATERIALES.....	40
4.7.	FUENTES DE INFORMACIÓN.....	41
4.7.1.	FUENTES PRIMARIAS	41
4.7.2.	FUENTES SECUNDARIAS.....	41
4.7.2.1	Tesis Publicadas.....	41
4.7.2.2	Manuales de Apoyo	41
4.7.2.3	Artículos Científicos.....	41
4.8.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	42
CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		43
5.1.	DISEÑO MEZCLAS 1.....	43
5.1.1.	CÁLCULOS PRELIMINARES	43
5.1.2.	RESULTADOS DE CONTROL Y POLÍMERO A.....	45
5.1.3.	RESULTADOS POLÍMERO B.....	49
5.2.	DISEÑO MEZCLA 2.....	50
5.2.1.	CÁLCULOS PRELIMINARES	50

5.2.2.	RESULTADOS	51
5.2.3.	OBSERVACIONES.....	54
5.3.	DISEÑO MEZCLA 3.....	56
5.3.1.	CÁLCULOS PRELIMINARES	57
5.3.2.	RESULTADOS	57
5.4.	ANÁLISIS ECONÓMICO	60
5.4.2.	MEZCLA CON 0.5%.....	61
5.4.3.	MEZCLA DE 2%.....	62
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES		63
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES		64
CAPÍTULO VIII: APLICABILIDAD		65
CAPÍTULO IX: BIBLIOGRAFÍA		66
CAPÍTULO X: ANEXOS		71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de las variables	23
Tabla 2. Tabla de Operacionalización.....	25
Tabla 3. Tipo de Diseño	29
Tabla 4. Población y Muestra.....	30
Tabla 5. Tamaño de Tamices.....	32
Tabla 6. Cronograma de Actividades.....	42
Tabla 7. Pesos de Bitumen y Agregado.....	45
Tabla 8. Peso de bitumen y polímeros para cada % de sustitución en Mezcla 1.....	45
Tabla 9. Resultados de Mezcla 1	46
Tabla 10. Pesos de Bitumen y Agregado de Mezcla 2	50
Tabla 11. Peso de bitumen y polímeros para cada % de sustitución en Mezcla 2.....	51
Tabla 12. Resultados de Mezcla 2.....	51
Tabla 13. Peso de bitumen y polímeros para cada % de adición en Mezcla 3.....	57
Tabla 14. Resultados de Mezcla 3.....	58
Tabla 15. Resumen de resultados	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Porcentaje de vías pavimentadas por país	8
Ilustración 2. Diagrama de Variables de Operacionalización	24
Ilustración 3. Diagrama de Nomenclatura de Muestras.....	31
Ilustración 4. Curva Granulométrica de Combinación inicial	44
Ilustración 5. Gráficas de Resultados Mezcla 1.....	47
Ilustración 6. Gráfica de Resultados de Mezcla 2	52
Ilustración 7. Gráficas de Mezcla 2 VC Mezcla sin PET	55
Ilustración 8. Gráficas de resultados de Mezcla 3	59

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La contaminación es uno de los principales problemas del mundo en el siglo XXI. Se estima que en Honduras se produce alrededor cinco mil toneladas diarias de residuos sólidos. Una gran parte de estos residuos sólidos son no biodegradable presentando un problema para el medio ambiente. Estos residuos suelen acumularse en las calles, alcantarillas, vertederos o en el mar contaminando y dañando la vida silvestre. En el municipio de Omoa, departamento de Cortes, existe gran impacto ambiental producto de la acumulación de residuos que ha creado una "isla de basura".

Dentro de los residuos sólidos más comunes se encuentra plástico PET o Tereftalato de Polietileno. Este plástico es comúnmente utilizado en lo que son las botellas para bebidas gaseosas, agua, jugos, etc. Y de igual forma en las etiquetas de estas mismas botellas. En la ciudad de San Pedro Sula, existe una empresa que trabaja con el manejo y reciclaje de dicho plástico PET. Ellos reciclan las botellas, produciendo unas hojuelas con un tamaño de 2 a 4 milímetros. En la creación de estas hojuelas se obtiene un "desperdicio" que comúnmente es quemado y desperdiciado.

En la presente investigación se evaluará el efecto de la incorporación, del anteriormente mencionado, "desperdicio" en mezclas asfálticas comúnmente utilizadas en la ciudad de San Pedro Sula. Mediante esta investigación se podrá definir la viabilidad de dicha incorporación y de esa manera ayudar a combatir el problema de la contaminación en San Pedro Sula. Al igual que creando una opción ahorrativa y "eco-amigable" para las vías de comunicación.

CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se establecerán los antecedentes de la investigación, dentro de estos se encuentran investigaciones y estudios previos relacionados al contenido de la presente tesis. Posteriormente se definirá la problemática a la cual se le busca dar una solución óptima. Esto se facilitará mediante la creación de preguntas de estudio, las cuales se contestarán con el tema a estudiar. Los objetivos se definirán en dos partes, generales y específicos, estos serán la guía para la investigación. Finalmente, se hará una justificación de la investigación estableciendo los diferentes beneficios que esta provee. Dentro de estos beneficios cabe destacar los ambientales y económicos.

2.1. ANTECEDENTES

Los bitúmenes convencionales utilizados en la construcción tienen propiedades y características que en la actualidad no son suficientes para satisfacer las necesidades debido al incremento de flujo vehicular (Furigua & Pedraza, 2014). Este aumento de flujo vehicular ha tenido muchos efectos en la construcción de vías de comunicación ya que se ha vuelto caro por aumento del precio del petróleo.

Según (StarMedia, 2015) la implementación de los pavimentos con adición de residuos plásticos nace en los Países Bajos en 1936, las cuales sorprendieron a grandes potencias europeas y Estados Unidos llevándolos a empezar a implementar esta tecnología en los años 1950s. Holanda no solo sorprendió en aquel entonces, si no que lo sigue haciendo actualmente, la empresa constructora VolkerWessels llegó a un acuerdo con el ayuntamiento de la ciudad de Rotterdam para probar el pavimento de 100% de plástico reciclado del mar.

La crisis petrolera, que comenzó en 1973, dio lugar a un shock económico traído aproximadamente por dos aumentos repentinos y muy grandes en el precio del petróleo crudo. Esto aumentos han llevado a que se planteen preguntas sobre la disponibilidad a largo plazo de petróleo crudo y betún en el sentido de que los cambios económicos podrían tener en las técnicas de procesado y la calidad de los productos acabados. (PIARC, 1983). A partir de la decisión que se tomó en la cumbre de la PIARC, la investigación de recursos alternativos a la hora de crear

pavimentaciones ha venido al auge para poder combatir el desgaste de los hidrocarburos y por ende el aumento del valor del petróleo.

Países como Australia, Bélgica, Francia, Portugal, Estados Unidos, España y Alemania han sido pioneros del acuerdo de Sídney y han invertido en temas de investigación en el progreso de procesos de modificación de los ligantes asfálticos con la afiliación de polímeros de manera tal manera que han reformado positivamente las propiedades y han obtenido resultados más económicos. En España, ha venido creciendo el uso del látex en las capas asfálticas ya que esta mejora notablemente las características ligantes y con ella mejora la resistencia mecánica de la mezcla final.

En 1985, el ingeniero español Miguel Ángel de Val realizó una investigación sustituyendo betún por residuos plásticos. La incorporación de los desechos a las mezclas bituminosas, no buscando una modificación de ligante sino una cohesión adicional que permita la disminución de las cantidades de betún empleadas; por otro lado, la utilización de los desechos como agente de estabilización de materiales granulares sin ningún otro tipo de conglomerante (del Val Melús, 1985).

En Costa Rica en el 2018 se empezó a implementar el Asfalto Verde con una carretera piloto por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Brunner, 2018). Algo que no es de sorprender ya que la Universidad de Costa Rica (UCR) lleva 20 años promoviendo las investigaciones de esta índole en mezclas asfálticas. El famoso Asfalto Verde consiste en la adición de plásticos en la mezcla asfáltica para mejorar sus características y aumentar sus resistencias por factores climatológicos.

El plástico es un problema a nivel mundial que queda más que patente en las calles de algunas de las grandes urbes indias donde los residuos se amontonan sin control provocando enfermedades a la población más pobre y débil (Arias, 2018). Un ejemplo de reciclaje de plástico en pavimentaciones es el Doctor Rajagopalan Vasudeva, considerado una eminencia en India, que recicla aproximadamente más de 5.6 millones de toneladas al año. Vasudeva, que es director de la Facultad de Ingeniería de Thiagarajar en Madurai, consideró que el plástico era increíblemente dañino para las clases bajas, las cuales abundan en India, y por eso se ha dedicado desde el 2002

en utilizar el plástico como un componente más en el asfaltado de carreteras. Actualmente su investigación e implementación ha tenido tanto éxito que se han pavimentado más de 20,000 kilómetros de carreteras asfaltadas con plástico reciclado en India.

En el ámbito local, la empresa INVEMA ha sido pionera en la implementación de reciclaje de todo tipo de desechos. Principalmente compran plástico contaminante al ambiente y se somete a un proceso específico de reciclaje para una vida útil postergada. No obstante, este proceso deja residuos los cuales es imposible de encontrarle otra utilidad además de ser incinerados. Los tipos de residuos son partidos de plástico 100% PET y el otro es de 80% etiqueta con 20% PET.

Actualmente en Honduras no se cuenta con un antecedente de investigación de adición de residuos plásticos en la mezcla asfáltica. Lo que si se ha experimentado en la zona es la adición de plástico a mezcla de concreto hidráulico.

2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Conociendo los antecedentes relacionados al tema de investigación se proseguirá a la definición del problema. Dicha definición se separa en dos partes: el enunciado del problema y la formulación del problema. Ambas partes serán de suma importancia al momento de realizar y formular las preguntas de investigación y los objetivos.

2.2.1. ENUNCIADO DEL PROBLEMA

“Polímeros reciclados disponibles en Honduras como modificante de las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica.”

2.2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué efecto tiene la sustitución de un porcentaje de bitumen con polímeros reciclados disponibles en Honduras en las propiedades físicas y mecánicas del concreto asfáltico típico de la zona?

2.3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- 1) ¿Cómo afecta la sustitución de un porcentaje de bitumen por PET reciclado en el porcentaje de vacíos de aire, porcentaje de vacíos de agregado mineral, el valor de estabilidad y flujo de Marshall de un concreto asfáltico?
- 2) ¿Cuál es el efecto la sustitución de un porcentaje de bitumen por polímero B en el porcentaje de vacíos de aire, porcentaje de vacíos de agregado mineral, el valor de estabilidad y flujo de Marshall de un concreto asfáltico?
- 3) ¿Cuál es el porcentaje de sustitución óptimo de bitumen por polímeros reciclados para un concreto asfáltico específico para Honduras?

2.4. OBJETIVOS

Las preguntas de investigación indican los objetivos de esta, ya que estos se formulan para responder dichas preguntas. Los objetivos se dividen en dos, el objetivo general, que responde a la formulación del problema, y los objetivos específicos que responden a las preguntas de investigación.

2.4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto que tiene la sustitución de un porcentaje de bitumen con polímeros reciclados disponibles en Honduras en las propiedades físicas y mecánicas del concreto asfáltico típico de la zona.

2.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Determinar el efecto de sustituir un porcentaje de bitumen por PET reciclado en el porcentaje de vacíos de aire, porcentaje de vacíos de agregado mineral, el valor de estabilidad y flujo de Marshall de un concreto asfáltico.
- 2) Determinar el efecto de la sustitución de un porcentaje de bitumen por polímero B varia los porcentajes de vacíos de aire, porcentaje de vacíos de agregado mineral, el valor de estabilidad y flujo de Marshall de un concreto asfáltico.

- a. Obtener cual es el porcentaje de sustitución óptimo de bitumen por polímeros reciclados para un concreto asfáltico específico para Honduras.

2.5. JUSTIFICACIÓN

Actualmente en Honduras no se cuenta con un estudio de asfalto modificado. Un estudio de asfalto modificado utilizando polímeros reciclados representaría un gran beneficio para el país. Mediante el estudio del comportamiento de las mezclas asfálticas más comunes de la zona con la incorporación de polímeros reciclados, se podrá determinar si esta es una alternativa viable para la incorporación en el país. Si esta fuese una alternativa viable, representaría un ahorro económico en la construcción de vías de comunicación. Al estar utilizando polímeros reciclados, se estará combatiendo el gran problema mundial de la contaminación, encontrándole un uso a esos desperdicios que usualmente terminan en botaderos o en el mar. De igual manera dejarle saber a la población de este tipo de investigaciones y proyectos ayudaría a fomentar la consciencia social y ecológica del país.

CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO

3.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Es importante para toda investigación conocer el pasado y presente de los temas que contribuyen a crear un contexto amplio de información. En el caso de la mezcla asfáltica modificada con polímeros reciclados es importante conocer el origen y situación de los polímeros, la situación actual de las vías de comunicación, la situación de los residuos sólidos y la implementación de tecnologías que utilicen plástico reciclado para pavimentación.

3.1.1. ANÁLISIS DEL MACROENTORNO

El análisis del macroentorno comprende la situación global de los temas pertinentes a la investigación.

3.1.1.1. Polímeros Y Plástico

Según relata García (2009) los polímeros naturales han sido utilizados desde hace más de dos mil años; la resina para embalsamar en Egipto, la goma laca en India y el hasta en Europa. En 1909 el químico Leo Baekeland fabrica bakelita, el primer polímero sintético. En los siguientes años se continúan desarrollando investigaciones y avances en procesos industriales. Para la década de 1930 ya se producen los polímeros más comunes de hoy en día como ser el policloruro de vinilo, el poliestireno, las poliolefinas, el polimetacrilato de metilo, plexiglás, nylon, teflón y los termoplásticos. Durante la segunda guerra mundial se generan nuevos materiales como el neopreno, hilos de nylon, polipropileno, poliuretanos.

En los años 50 y 60 se popularizaron los polímeros que hoy en día conocemos como "plástico" para la fabricación de botellas y otros productos. Se estima que desde entonces se han producido más de 8,300 millones de toneladas de plástico virgen, de los cuales más de la mitad han sido producidos en los últimos trece años. La producción de plástico ha tenido un impacto en el medio ambiente ya que "más del 70% de la producción total se encuentra ahora en los flujos de desechos de los vertederos y en los océanos. [...] Más de 90% de los residuos de plástico que existen hoy en la naturaleza, no fueron reciclados." (BBC Mundo, 2017).

3.1.1.2. Vías De Comunicación

Actualmente el planeta cuenta con más de 32 millones de kilómetros de calles y carreteras. Como se muestra en la siguiente ilustración en la mayoría de los países desarrollados más del sesenta por ciento de estas vías están pavimentadas. En cambio, en países en desarrollo, como ser Honduras, este porcentaje es mucho menor. (“The World Factbook — Central Intelligence Agency”, s/f).

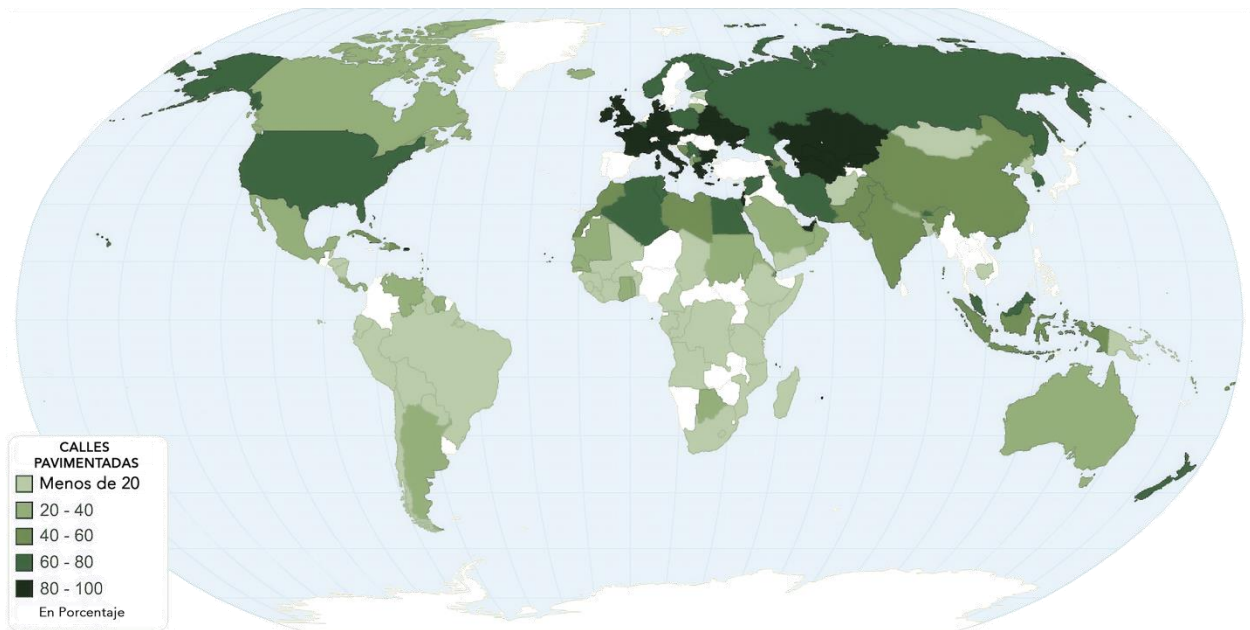


Ilustración 1. Porcentaje de vías pavimentadas por país

Fuente: (ChartsBin, s/f)

África y América Latina cuentan con el menor porcentaje de calles pavimentadas. Según reportes del Banco Mundial, más de mil millones de personas de países en desarrollo no cuentan con carreteras transitables todo el año. (“Transporte”, s/f)

Los pavimentos más comunes son de concreto, mezcla asfáltica y tierra. En el 2015 se proyectó un consumo de 119.5 millones de toneladas de asfalto y se espera un crecimiento anual del 4.1 por ciento hasta el 2020. Casi un ochenta por ciento del asfalto consumido es destinado a la pavimentación. (“World Asphalt Industry Study with Forecasts for 2015 & 2020”, s/f)

3.1.1.3. Asfalto Modificado con Plásticos

Alrededor del mundo se han realizado diferentes investigaciones y proyectos con el fin de incorporar diferentes tipos de plástico a mezclas de concreto asfáltico. Dentro de esta destaca las investigaciones de Dr. Rajagopalan Vasudevan del Colegio de Ingeniería Thiagarajar de Masur en India. Vasudevan ha impulsado esta práctica y ya se han construido calles pilotos en diferentes sectores de India. Según Domínguez (2016):

El método consiste en espolvorear plástico de desecho triturado sobre gravilla caliente, cubriéndola así con una fina capa plastificada. Antes, los residuos se calientan a baja temperatura para evitar emisiones (el poliestireno es tóxico si se quema) y conseguir una textura fluida. Posteriormente, a esta mezcla se le añade el asfalto. Bolsas de plástico, porexpán (poliestireno expandido) y otros residuos comunes de nuestro mundo de usar y tirar son los materiales perfectos para el compuesto del doctor Vasudevan.

Además de India, en Costa Rica, España, e Inglaterra se han realizado investigaciones sobre el tema.

3.1.2. ANÁLISIS DEL MICROENTORNO

El análisis del microentorno comprende un contexto de la situación local, específicamente de Honduras, de los temas pertinentes a la investigación. Los temas comprenden como se encuentran las carreteras en Honduras, su situación con los desechos plásticos y la condición de la industria del reciclaje.

3.1.2.1. Vías de Comunicación en Honduras

Según datos del 2010 de la Secretaría de Infraestructura y Servicios Públicos (INSEP) de Honduras, las carreteras de Honduras tienen una extensión de 14,346 km de longitud, que corresponden a la red vial oficial. Sin embargo, la infraestructura vial total del país es de 25,000 km aproximadamente.

Este conjunto de Carreteras de Honduras se clasifica en:

- 1) Carreteras Pavimentadas, que representan un 22% 3,220 km de longitud total.
- 2) Carreteras Transitables, que representan un 68% 9,704 km de longitud total.
- 3) Carreteras Semitransitables, que representan un 10% 1422 km de longitud total.

3.1.2.2. Reciclaje de Plástico en Honduras

El 8 de septiembre de 2015 el BID (Banco Interamericano de Desarrollo) aprobó un préstamo de US\$5,5 millones para ayudar a la mayor empresa de reciclaje de material de desecho de Honduras a adquirir e instalar paneles solares fotovoltaicos en los techos de su planta de San Pedro Sula.

La inversión permitirá a Inversiones Materiales S.R.L. (INVEMA) instalar más de 3.600 paneles solares, lo que equivale a aproximadamente 1MW de capacidad generadora con cero emisiones de gases de efecto invernadero para el autoconsumo. El proyecto también incluye inversiones en equipos de reciclaje que permitirán a la empresa ampliar el procesamiento de botellas de plástico PET que recoge en las calles, rellenos sanitarios y cursos de agua en diversas comunidades de Honduras y así producir botellas de PET con material 100 por ciento reciclado. (BID B. I., 2018)

Actualmente el BID tiene como objetivo apoyar los esfuerzos del gobierno para impulsar la producción estancada y el bajo crecimiento; reducir las brechas en la generación y acumulación de capital humano, particularmente en las áreas rurales, y lograr una inclusión social real (a través de intervenciones coordinadas en protección social, salud y educación); y mejorar la calidad de vida y el nivel de vida en las áreas urbanas. Con este fin, el banco brinda apoyo en las siguientes áreas: consolidación fiscal; sostenibilidad y competitividad en el sector energético; infraestructura vial para la integración regional; inclusión social; y desarrollo sostenible en el Distrito Central. (BID, 2018)

A inicios de 2016 comenzó operaciones la planta recicladora y productora de resina y lámina de material PET (polietileno tereftalato). La planta, que es la primera en Centroamérica, se construyó con una inversión de 10 millones de dólares y producirá 650 toneladas de resina al mes, la cual será utilizada por embotelladoras de Honduras, Nicaragua y El Salvador. (PRENSA, 2017)

El principal objetivo de INVEMA es incrementar el porcentaje de recolección en el país de un 84% para llegar a un 95%. Todas las botellas que se utilizan en el país son hechas con resina exportada. Con este proyecto se logra garantizar un mayor valor a las botellas que se botan porque ahora se quedan aquí. De esta forma se incentiva más a las personas para que reciclen el material y se mejora el medio ambiente.

Actualmente a principios del año 2018, el nivel de recolección de esos materiales es del 83%. Se espera un declive en esta cifra debido a que China anuncia que ya no comprará algunos de los residuos sólidos reciclables; por lo que los países están tomando medidas para deshacerse de su basura. (PRENSA, Reciclaje para biomasa, salida ante el cierre del mercado chino, 2018)

El plástico representa uno de los residuos sólidos más utilizados por las personas y por ende es uno de los que más se recicla. En San Pedro Sula, la empresa INVEMA, al mes compran unas 3,000 toneladas de plásticos, de las cuales unas 1,400 son utilizadas en la planta recicladora de PET que tiene la empresa para hacer botellas de refrescos y empaques de alimentos. El resto es enviado a países como Estados Unidos, China y Sudamérica.

La preocupación de las empresas recicladoras ante la nueva disposición de China es que el precio de los materiales bajará, causando disminución en el nivel de reciclaje; esto debido a que se deben buscar nuevos mercados en otros países.

3.1.2.3. Concreto con Plástico Reciclado en Útila

Según el artículo de Peliccia (2018):

Las imágenes de enormes masas de plásticos flotando en los mares que circundan la isla de Roatán tomadas por la fotógrafa Caroline Power en 2017 generaron en todo el mundo titulares que calificaban de impactantes los interminables desperdicios flotantes. Las tortugas marinas tienen problemas para anidar, los residentes ven a los delfines jugando con bolsas de la compra que parecen medusas, y los plásticos amenazan la salud del cercano arrecife Mesoamericano, el segundo sistema de arrecife de coral más grande del mundo y unas de las zonas coralíferas con mayor diversidad del planeta.

El alcalde de Útila, Troy Bodden, observó un video de calles asfálticas con plástico reciclado hechas en Canadá. De aquí obtuvo la idea principal, el siguió investigando y descubrió que en India ya se han pavimentado alrededor de mil kilómetros con cinco mil toneladas de plástico. Este solicitó a la institución de la Zona Libre Turística de las Islas de la Bahía, cinco mil dólares para comprar una máquina trituradora.

Se conoce por medio del artículo de Peliccia (2018) que:

La calle de Holland, que hace esquina con la calle Principal, llena de bares de turistas y centros de buceo, está ahora asfaltada con una mezcla de cemento, arena, gravilla y un 28% de plástico triturado y fundido. La fórmula se había probado primero en un laboratorio de Honduras para comprobar su resistencia al peso y al clima. El proyecto empleó 80.000 botellas para asfaltar una franja de 91 metros de longitud. Luego se comenzó a asfaltar el acceso a la calle Lozano. Cada martes y jueves se recogía el plástico de las playas y del centro de reciclaje, se tritura para formar bolas y se llevaba a la obra en enormes bolsas negras.

La técnica que supervisó el proyecto Eymi Reyes (2018) narró:

“Hoy estamos utilizando 272 kilos de plástico para hacer el hormigón. Reducimos la cantidad de desperdicios de la isla y lo usamos para el bien común.”

3.2. TEORÍAS DE SUSTENTO

A continuación, se presentan los documentos y normativas que sustentan la investigación.

3.2.1. AASHTO T 166

1) Alcance

Esta norma describe el proceso y los cálculos para la obtención del valor de la gravedad específica BULK para briquetas compactadas de mezcla asfáltica. (Taylor, 2015)

2) Ventajas

La norma define de manera clara los procedimientos y precauciones para la elaboración del procedimiento. Esta norma no requiere de instrumentos ni procedimientos complicados.

3) Limitaciones

Esta norma se limita a el peso BULK de briquetas de mezcla asfáltica en caliente elaboradas laboratorio o muestras extraídas de pavimentos ya colocados que cumplan con las dimensiones definidas por la norma.

3.2.2. AASHTO T 209

1) Alcance

Esta norma describe el proceso y los cálculos para la obtención del valor de la densidad máxima teórica mezcla asfáltica no compactadas a una temperatura de 25C. ("t209.pdf", s/f)

2) Ventajas

La norma define de manera clara los procedimientos y precauciones para la elaboración del procedimiento.

3) Limitaciones

Esta norma se limita a la densidad máxima teórica mezcla asfáltica en caliente elaboradas laboratorio u obtenidas de una máquina mezcladora de asfalto.

3.2.3. AASHTO T 245

1) Alcance

Esta norma define el procedimiento para preparar briquetas de mezcla asfáltica para ser cargadas en su superficie lateral por medio del aparato de Marshall. ("t245.pdf", s/f)

2) Ventajas

La norma define de manera clara los procedimientos y precauciones para la elaboración del procedimiento.

3) Limitaciones

Esta norma fue descontinuada en 1998. Sería ideal el uso de la técnica Superpave, no obstante, es el método que se utiliza en Honduras para el diseño de asfalto Esta norma se limita a la obtención del valor de estabilidad y flujo de briquetas de mezcla asfáltica en caliente elaboradas laboratorio o muestras extraídas de pavimentos ya colocados que cumplan con las dimensiones definidas por la norma.

3.2.4. ASTM D 2041

1) Alcance

Esta norma describe el proceso y los cálculos para la obtención del valor de la densidad máxima teórica mezcla asfáltica no compactadas a una temperatura de 25C.

2) Ventajas

La norma define de manera clara los procedimientos y precauciones para la elaboración del procedimiento.

3) Limitaciones

Esta norma se limita a la obtención del porcentaje de vacíos de aire de briquetas de mezcla asfáltica en caliente elaboradas laboratorio o muestras extraídas de pavimentos ya colocados que cumplan con las dimensiones definidas por la norma.

3.3. MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se definen algunos los términos y lenguaje técnico pertinente a la investigación.

- 1) Agregado:** “Un material granular duro de composición mineralógica como la arena, la grava, la escoria o la roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños” (Coronado Iturbide, 2002 p. xvi).
- 2) Asfalto Modificado:** “Producto de la incorporación de un polímero u otro modificador en el asfalto para mejorar sus propiedades físicas y geológicas como la disminución de la susceptibilidad a la temperatura y a la humedad” (Ministerio de Transportes Y Comunicaciones de Peru, 2008, p. 5).
- 3) Asfalto:** “Material cementante, de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por betunes de origen natural u obtenidos por refinación del petróleo. El asfalto se encuentra en proporciones variables en la mayoría del crudo de petróleo” (Ministerio de Transportes Y Comunicaciones de Peru, 2008 p. 4).

- 4) Bitumen:** “Un tipo de sustancia cementante de color negro u oscuro (sólida, semisólida, o viscosa), natural o fabricada, compuesta principalmente de hidrocarburos de alto peso molecular, siendo típicos los asfaltos, las breas (o alquitranes), los betunes y las asfálticas” (Ministerio de Transportes Y Comunicaciones de Peru, 2008 p. 6).
- 5) Carpeta, Superficie de Rodadura:** “La parte superior de un pavimento, por lo general de pavimento bituminoso o rígido, que sostiene directamente la circulación vehicular” (Coronado Iturbide, 2002 p. xvi).
- 6) Carretera, calle o camino:** “Un calificativo general que designa una vía pública para fines de tránsito de vehículos, e incluye la extensión total comprendida dentro del derecho de vía” (Coronado Iturbide, 2002 p. xvi).
- 7) Deformación Marshall o Flujo:** “En el Ensayo Marshall es la disminución del diámetro que experimenta la probeta entre el inicio de carga y el instante de rotura, expresada en mm con una aproximación de 0.1 mm” (Construmatica, 2017).
- 8) Densidad del BULK (Gravedad Especifica BULK):** La norma () indica que:
Es la relación entre el peso en el aire de una unidad de volumen de un material permeable a una temperatura establecida, con respecto al peso en aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada sin gas a una temperatura determinada.
- 9) Densidad Máxima Teórica:** La densidad máxima teórica es la densidad que se obtiene mediante el ensayo de laboratorio AASHTO T-209. Esta densidad difiere de las demás densidades ya que esta es sometida a una extracción de vacíos por medio de una bomba extractora. Esta densidad es utilizada como parámetro límite y de comparación al momento del diseño de una carpeta asfáltica.
- 10) Densidad:** “Relación entre la masa y el volumen de una sustancia, o entre la masa de una sustancia y la masa de un volumen igual de otra sustancia tomada como patrón” (Oxford University Press, 2018).
- 11) Emulsión Asfáltica:** Según Raudales (2005):
Las emulsiones asfálticas es una mezcla de bitumen, agua y un agente emulsificante (Debido a que el bitumen no se diluye en agua, se le agrega dicho agente emulsificante). Luego de ser colocado, el agua contenida en las emulsiones asfálticas se evapora en la atmósfera, quedando como residuo el bitumen. Las emulsiones asfálticas se dividen en catiónicas y aniónicas. (p. 5)

12) Estabilidad Marshall: “En el ensayo Marshall, es la carga máxima en N resistida por la probeta multiplicada por el factor de corrección correspondiente, función del volumen y del espesor de la probeta, expresada con una aproximación de 100 N” (Construmatica, 2017).

13) Granulometría: (Raudales, 2005) establece que:

La granulometría de los agregados es la distribución de los tamaños de las partículas expresadas como un porcentaje del peso total. La granulometría de los agregados es determinada por el tamizado. Los tamices que se usan normalmente para el análisis granulométrico del concreto asfáltico son: 2”, 1.5”, 1”, ¾”, ½”, 3/8”, No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No.50, No.100, y No.200. (p. 15)

14) Gravedad Específica: Según el manual de (Raudales, 2005)

Ésta se define como la relación entre la masa (el peso) de un volumen dado de una sustancia y la masa (el peso) de un volumen igual de agua. Es decir, es una relación entre sus densidades. La gravedad específica (también se conoce como densidad relativa) no tiene unidades. En lenguaje común, dice “cuántas veces es más pesada una sustancia que el agua”. Más correctamente, cuántas veces es más densa. (pp. 9-10)

15) PET (Tereftalato de Polietileno): Horno3 (2011) indica que:

PET es la abreviatura de polietileno tereftalato, una resina plástica y una forma de poliéster. Es un tipo de materia prima plástica derivada del petróleo. El polietileno tereftalato, es un polímero formado por la combinación de dos monómeros, el glicol etileno modificado y el ácido tereftalato.

16) Petróleo: Según la definición de (Oxford University Press, 2018):

El petróleo es una sustancia compuesta por una mezcla de hidrocarburos, de color oscuro y olor fuerte, de color negro y más ligera que el agua, que se encuentra en estado natural en yacimientos subterráneos de los estratos superiores de la corteza terrestre; su destilación fraccionada da productos de gran importancia industrial como la gasolina, el queroseno, el alquitrán, los disolventes, etc.

17) Plásticos: “Material sintético, obtenido por polimerización del carbono, que puede ser moldeado mediante presión o calor” (Oxford University Press, 2018).

18) Polímero: Según (Cedron, et al., 2011):

Los polímeros se forman por la unión de un gran número de moléculas de bajo peso molecular, denominadas monómeros. Los plásticos son ejemplo de polímeros. Un polímero, por tanto, es un compuesto orgánico, que puede ser de origen natural o sintético, con alto peso molecular, formado por unidades estructurales repetitivas llamadas monómeros.

19) Porcentaje de Vacíos de Aire: “Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada” (Asphalt Institute, 1982).

20) Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral: “Los vacíos en el agregado mineral (VMA) son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto” (Asphalt Institute, 1982).

21) Probeta (Briqueta): “Muestra de cualquier sustancia o material para probar su elasticidad, resistencia, etc.” (Construmatica, 2017).

3.4 MARCO LEGAL

El principal propósito de las vías de comunicación es los pueblos y ciudades, de igual manera facilitar su comunicación. En la siguiente sección se presenta la Ley de Comunicación Terrestre, en esta se presenta una normativa aprobada por el Congreso Nacional de la Republica de Honduras. En dicha ley se presentan una serie de exigencias para las vías terrestres del país.

3.4.1. LEY DE COMUNICACIÓN TERRESTRE

LEY DE COMUNICACION TERRESTRE

DECRETO NUMERO 173

EL CONGRESO NACIONAL,

CONSIDERANDO: Que por Decreto N.- 6 de 20 de febrero de 1958 fue derogada la Ley de Vialidad, contenida en el Decreto N.- 64 de 4 de marzo de 1944 la cual contenía disposiciones que regulaban en parte el sistema vial del país.

CONSIDERANDO: Que, para promover, impulsar y facilitar el progreso Vial, es básico e indispensable dictar normas que expediten la labor de proyección, construcción, ampliación, conservación y reparación de carreteras y demás vías de comunicación terrestre y

CONSIDERANDO: Que es de urgente necesidad la solución de problemas que entorpecen y dilatan el proceso de ejecución de obra de interés nacional y uso público.

POR TANTO:

D E C R E T A:

LA SIGUIENTE:

LEY DE VIAS DE COMUNICACION TERRESTRE

Artículo 1.- El sistema vial del país está integrado por

- a. Carreteras especiales
- b. Las Carreteras principales o troncales
- c. Las Carreteras Secundarias
- d. Los Caminos de Acceso o de Penetración y
- e. Los Caminos Vecinales.

Para los efectos de esta Ley, el término carretera comprende cualquiera de las cinco clases anteriores.

Artículo 2.- Serán consideradas Carreteras especiales con acceso enteramente controlado o parcialmente controlado, todas las que siendo de importancia especial para el país, absorban un tráfico que justifique su construcción, con las características de amplitud que requiere esta clase de rutas.

Artículo 3.- Se consideran carreteras principales o troncales, las que formen la estructura vital de las redes viales de los países centroamericanos o de la red de la República y además aquellas que, sin ser esenciales para la articulación general de la red de carretera, unan puntos de gran importancia o tengan un volumen de tránsito cuya intensidad lo justifique.

Artículo 4.- Se consideran Carreteras Secundarias, las que comuniquen a los pueblos con la Red General de Caminos Principales o los que comuniquen pueblos entre sí, sin tener importancia especial al tránsito muy intenso.

Artículo 5.- Caminos Vecinales son que comuniquen pequeños pueblos o fincas entre sí, o con otros caminos de cualquier clase de tránsito reducido.

Artículo 6.- Vías de Acceso o de penetración, son las rutas transitables temporalmente por falta de Carreteras principales, Carreteras Secundarias y caminos vecinales o puestos en uso por las necesidades de apertura, construcción o rectificación de cualquiera de éstos.

Artículo 7.- Además de estas clasificaciones, podrán considerarse Carreteras Internacionales, aquellas cuyo tránsito por sus condiciones especiales (Terminal de puerto, etc.) puedan interesar a otro país fronterizo, aunque se encuentren dentro del territorio del país.

Artículo 8.- El sistema vial del país, es un bien inalienable, de propiedad nacional y de uso público.

Artículo 9.- Se declara de necesidad y utilidad pública, toda obra que tenga por objeto la construcción, ampliación y mejoramiento del sistema vial.

Artículo 10.- El estudio, apertura, construcción, ampliación, mejoramiento, mantenimiento y administración del sistema vial del país y de todo lo relacionado con la aplicación de la presente Ley, estará a cargo de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, por medio de la Dirección General de Caminos.

Artículo 11.- De conformidad con lo previsto en los Artículos que anteceden todo propietario de terreno está obligado a permitir el acceso a su propiedad, a los funcionarios y empleados del Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas, encargados de efectuar los estudios preliminares y la construcción de cualquier obra del sistema vial, asimismo el propietario deberá dar toda clase de facilidades a fin de que puedan hacerse sin dificultad dichos estudios.

Artículo 12.- Los dueños de terrenos contiguos y cercanos a cualquier obra del sistema vial, están obligados a facilitar y permitir la extracción de todo el material que sea necesario para la apertura, construcción, mantenimiento del mismo, sin costo alguno para el Estado, previa notificación al Propietario.

Artículo 13.- El Estado ejecutará por su cuenta, las reparaciones de los daños que se ocasionaren con motivo de la extracción de los materiales en los terrenos a que se refiere el artículo anterior, después de terminada la obra.

Artículo 14.- El derecho de Vía, tendrá un mínimo de quince metros, contados a cada lado de la vía central de la carretera.

Artículo 15.- La parte de los terrenos de propiedad privada que se requiera para las obras de construcción, ampliación y mejoramiento del sistema vial del país, pasarán a dominio de la Nación mediante cesión, donación, compraventa, compensación o expropiación de los mismos por causa de necesidad y utilidad pública.

Cuando el terreno sea ejidal o nacional, el poseedor no tendrá derecho más que al valor de las mejoras hechas sobre la parte que resultó afectada.

En todo caso, el precio o indemnización que deba pagarse a personas naturales o jurídicas, se rebajará proporcionalmente el beneficio de la plusvalía que resultare a los inmuebles afectados, por cualquier obra Vial del país.

Artículo 16.- Además de los Derechos de Vía, debe reservarse una faja de cinco metros por lo menos a cada lado del camino, en la que no se autorizan construcciones de ninguna clase. Las construcciones que se erijan en violación a este artículo serán demolidas sin responsabilidad alguna para el Estado y el infractor se hará acreedor a los gastos que ocasionare la demolición y demás responsabilidades legales.

Artículo 17.- Dentro de la zona del Derecho de Vía, no se permitirá la construcción de anuncios comerciales ni de otra índole, a excepción de las señales viales.

Artículo 18.- También queda prohibido depositar dentro del Derecho de Vía de las Carreteras, madera, materiales de construcción o cualquier otro objeto que obstruya la visibilidad.

Artículo 19.- El tránsito de vehículos sobre el sistema vial, está sujeto a las especificaciones para cada clase de carreteras, cuando hubiere de utilizarse vehículos que accedan del límite de carga y dimensiones recomendadas por las especificaciones viales, previamente se deberá obtener autorización de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, que señalará las precauciones y medidas a observarse a fin de evitar daños.

Si a pesar de todo se ocasionaren daños, el causante será responsable de su reparación.

Artículo 20.- Cuando el transporte se efectúe si la autorización a que se refiere el artículo anterior o no se tomaren las precauciones o medidas recomendadas y se produjeran daños, el

responsable, además de la obligación que tiene de repararlos, serán sancionados con multa de mil a cinco mil Lempiras.

Artículo 21.- Las violaciones cometidas en contra de las disposiciones de esta Ley, serán sancionadas con multa de doscientos a mil Lempiras, salvo otra disposición expresa.

Artículo 22.- La presente Ley empezará a regir veinte días después de su publicación en el diario oficial "LA GACETA", quedando derogadas desde esa fecha todas las Leyes y reglamentos de Caminos, dictadas con autoridad y demás disposiciones que se le opusieren.

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

La investigación cuenta con un planteamiento del problema verídico a lo que en realidad está pasando, y esto permite poder trazar las preguntas de investigación de forma precisa con información necesaria para poder justificar la misma. Con ayuda del marco teórico se dan fundamentos a la investigación, la cual sigue con una metodología apropiada al tema que ayudará a cumplir de manera ejemplar los objetivos antes planteados.

4.1. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Según Hernández Sampieri (2014):

“Una variable es una propiedad que puede fluctuar y cuya variación es susceptible de medirse u observarse. El concepto de variable se aplica a personas u otros seres vivos, objetos, hechos y fenómenos, los cuales adquieren diversos valores respecto de la variable referida” (p. 105).

En la siguiente investigación se toman en cuenta variables pluridimensionales continuas, ya que recogen información de tres o más características y su medición es cualquier número posible dentro de un intervalo de valores, que se deben tomar para la caracterización de los datos finales y su posterior análisis.

Las variables adquieren valor para la investigación científica cuando llegan a relacionarse con otras variables, es decir, si forman parte de una hipótesis o una teoría. En este caso, se les suele denominar constructos o construcciones hipotéticas (Hernández Sampieri, 2010). En la Tabla 1. Operacionalización de las variables. Se describe la operacionalización de las variables.

Tabla 1. Operacionalización de las variables

PROBLEMA	¿Qué efecto tiene la sustitución de un porcentaje de bitumen con desperdicios del proceso de reciclado del plástico con los agregados y bitumen, utilizados en la región de San Pedro Sula, en el concreto asfáltico?		
OBJETIVO GENERAL	Establecer un precedente en Honduras sobre la viabilidad del asfalto modificado con desperdicio del proceso de reciclado del plástico utilizando los materiales más comunes utilizados en la región de San Pedro Sula mediante estudios de laboratorio normados por la ASTM.		
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	¿Cómo afecta la sustitución de un porcentaje de bitumen por PET reciclado en el porcentaje de vacíos de aire, porcentaje de vacíos de agregado mineral, el valor de estabilidad y flujo de Marshall de un concreto asfáltico?	¿Cuál es el efecto la sustitución de un porcentaje de bitumen por 80% etiqueta reciclado en el porcentaje de vacíos de aire, porcentaje de vacíos de agregado mineral, el valor de estabilidad y flujo de Marshall de un concreto asfáltico?	De existir un beneficio ¿Cuál es el porcentaje de sustitución óptimo de bitumen por polímeros reciclados para un concreto asfáltico específico para Honduras?
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	Determinar el efecto de sustituir un porcentaje de bitumen por PET reciclado en el porcentaje de vacíos de aire, porcentaje de vacíos de agregado mineral, el valor de estabilidad y flujo de Marshall de un concreto asfáltico.	Determinar el efecto de la sustitución de un porcentaje de bitumen por 80% etiqueta reciclado en el porcentaje de vacíos de aire, porcentaje de vacíos de agregado mineral, el valor de estabilidad y flujo de Marshall de un concreto asfáltico.	De existir un beneficio, obtener cual es el porcentaje de sustitución óptimo de bitumen por polímeros reciclados para un concreto asfáltico específico para Honduras.
VARIABLE INDEPENDIENTE	Porcentaje de sustitución de Bitumen por Polímero A (PET)	Porcentaje de sustitución de Bitumen por Polímero B (Etiqueta)	% de sustitución con estabilidad máxima % de sustitución con densidad BULK máxima % de sustitución con %Va ideal
VARIABLE DEPENDIENTE	Propiedades Mecánicas del la Mezcla Asfáltico		Porcentaje Optimo de Asfalto

Fuente: Propia

4.1.1. DIAGRAMA DE LAS VARIABLES DE OPERACIONALIZACIÓN

En la Ilustración 2. Diagrama de Variables de Operacionalización se muestra la correlación de las variables independientes y variables dependientes dejando establecidas las dimensiones con las cuales estas serán medidas.

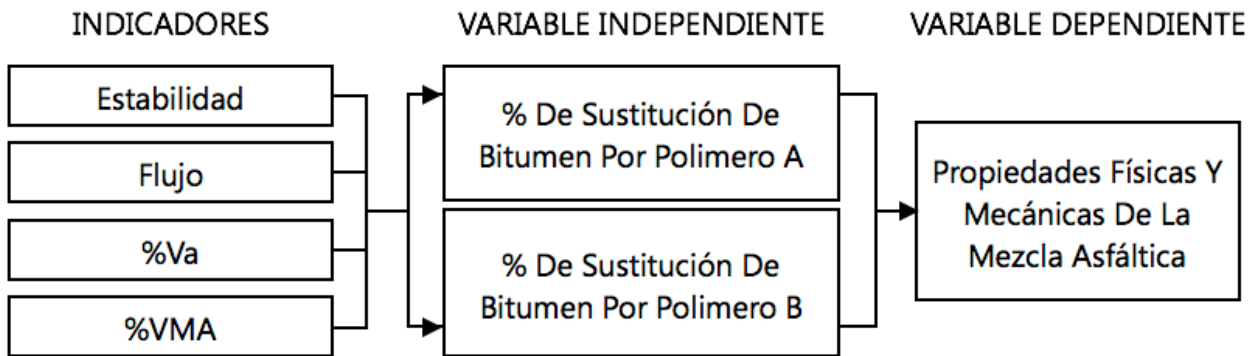


Ilustración 2. Diagrama de Variables de Operacionalización

4.1.2. TABLA DE OPERACIONALIZACIÓN

A continuación, en la Tabla 2. se expresa de manera detallada la operacionalización de las variables desde sus definiciones, conceptuales y operacionales, dimensiones, e indicadores que ayudan a poder medir las variables correctamente.

Tabla 2. Tabla de Operacionalización

Variable Independiente	Definición		Dimensiones	Indicadores	Unidades
	Conceptual	Operacional			
% De Sustitución De Bitumen Por Polimero A	El PET está compuesto por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire.	Tereftalato de Polietileno es comúnmente utilizado en lo que son las botellas para bebidas gaseosas, agua, jugos, etc. Y de igual forma en las etiquetas de estas mismas botellas.	Estabilidad	Lecturas de aparato Marshall	N/A
			Flujo	Lecturas de aparato Marshall	1/100 in
			% Va	Densidad Teórica	g/cm ³
				Densidad BULK	g/cm ³
			%VMA	Densidad BULK	g/cm ³
				Densidad de Agregados	g/cm ³
				% de Agregados	Porcentaje
			%VFA	Densidad Teórica	g/cm ³
				Densidad BULK	g/cm ³
				Densidad de Bitumen	g/cm ³
	%VMA	Porcentaje			
	% de Bitumen	Porcentaje			
% DE SUSTITUCIÓN DE BITUMEN POR POLIMERO B	Una mezcla asfáltica en general es una combinación de un ligante hidrocarbonato y agregados minerales pétreos.	Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de firmes, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de rodamiento segura y económica	Estabilidad	Lecturas de aparato Marshall	N/A
			Flujo	Lecturas de aparato Marshall	1/100 in
			% Va	Densidad Teórica	g/cm ³
				Densidad BULK	g/cm ³
			%VMA	Densidad BULK	g/cm ³
				Densidad de Agregados	g/cm ³
				% de Agregados	Porcentaje
			%VFA	Densidad Teórica	g/cm ³
				Densidad BULK	g/cm ³
				Densidad de Bitumen	g/cm ³
	%VMA	Porcentaje			
	% de Bitumen	Porcentaje			

Fuente: Propia

4.1.3. HIPÓTESIS

4.1.3.1 Hipótesis de Investigación

- 1) La estabilidad del concreto asfáltico mejorará con la adición de plástico 100% con respecto al concreto asfáltico de control.
- 2) El flujo del concreto asfáltico mejorará con la adición de plástico 100% con respecto al concreto asfáltico de control.
- 3) El porcentaje de vacíos de aire del concreto asfáltico se mantendrá en los niveles adecuados de diseño con la adición de plástico 100%.
- 4) El porcentaje de vacíos de agregado mineral del concreto asfáltico se mantendrá en los niveles adecuados de diseño con la adición de plástico 100%.
- 5) El porcentaje de vacíos llenos de asfalto del concreto asfáltico se mantendrá en los niveles adecuados de diseño con la adición de plástico 100%.
- 6) La estabilidad del concreto asfáltico mejorará con la adición de plástico 80% etiqueta con respecto al concreto asfáltico de control.
- 7) El flujo del concreto asfáltico mejorará con la adición de plástico 80% etiqueta con respecto al concreto asfáltico de control.
- 8) El porcentaje de vacíos de aire del concreto asfáltico se mantendrá en los niveles adecuados de diseño con la adición de plástico 80% etiqueta.
- 9) El porcentaje de vacíos de agregado mineral del concreto asfáltico se mantendrá en los niveles adecuados de diseño con la adición de plástico 80% etiqueta.
- 10) El porcentaje de vacíos llenos de asfalto del concreto asfáltico se mantendrá en los niveles adecuados de diseño con la adición de plástico 80% etiqueta.

4.1.3.2 Hipótesis Nula

- 1) La estabilidad del concreto asfáltico no mejorará con la adición de plástico 100% con respecto al concreto asfáltico de control.
- 2) El flujo del concreto asfáltico no mejorará con la adición de plástico 100% con respecto al concreto asfáltico de control.

- 3) El porcentaje de vacíos de aire del concreto asfáltico no se mantendrá en los niveles adecuados de diseño con la adición de plástico 100%.
- 4) El porcentaje de vacíos de agregado mineral del concreto asfáltico no se mantendrá en los niveles adecuados de diseño con la adición de plástico 100%.
- 5) El porcentaje de vacíos llenos de asfalto del concreto asfáltico no se mantendrá en los niveles adecuados de diseño con la adición de plástico 100%.
- 6) La estabilidad del concreto asfáltico no mejorará con la adición de plástico 80% etiqueta con respecto al concreto asfáltico de control.
- 7) El flujo del concreto asfáltico no mejorará con la adición de plástico 80% etiqueta con respecto al concreto asfáltico de control.
- 8) El porcentaje de vacíos de aire del concreto asfáltico no se mantendrá en los niveles adecuados de diseño con la adición de plástico 80% etiqueta.
- 9) El porcentaje de vacíos de agregado mineral del concreto asfáltico no se mantendrá en los niveles adecuados de diseño con la adición de plástico 80% etiqueta.
- 10) El porcentaje de vacíos llenos de asfalto del concreto asfáltico no se mantendrá en los niveles adecuados de diseño con la adición de plástico 80% etiqueta.

4.2. ENFOQUE Y MÉTODOS

Según (Hernández Sampieri, 2010) el enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos "brincar o eludir" pasos, el orden es riguroso, aunque, desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea, que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se desarrolla un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas (con frecuencia utilizando métodos estadísticos), y se establece una serie de conclusiones respecto de la(s) hipótesis.

El planteamiento de la investigación entra dentro de los parámetros para poder ser considerado como un enfoque cuantitativo, porque se plantea originalmente una idea de investigación, se

investigó los trabajos internaciones previamente elaborados del tema y se adaptó al ámbito local donde la información acerca de la investigación es poca o nula.

Una vez que se haya dejado claro el enfoque del estudio cuantitativo se prosigue a clasificar el alcance que tendrá la investigación. Apoyándose en el planteamiento del problema se pudo definir exitosamente las variables dependientes e independientes que tendrán factor esencial en la búsqueda de resultados. Las variables se correlacional entre sí y se pretende conocer cuál de todas será la más crítica favorablemente a la hora de encontrar mejorar mecánicas en el concreto asfaltico.

Según (Hernández Sampieri, 2010), una investigación correlacional asocia variables mediante un patrón predecible para un grupo o población. Este tipo de estudios tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular. En ocasiones sólo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio relaciones entre tres, cuatro o más variables. Los estudios correlacionales, al evaluar el grado de asociación entre dos o más variables, miden cada una de ellas (presuntamente relacionadas) y, después, cuantifican y analizan la vinculación. Tales correlaciones se sustentan en hipótesis sometidas a prueba.

El objetivo de los estudios correlativos es conocer el comportamiento de las variables al ser ajustadas de distintas maneras. Lo cual se desea encontrar la correlación optima en la cual las variables darán los mejores resultados.

4.2.1. TIPO DE DISEÑO

En el diseño metodológico se traza la metodología con la cual la investigación se guiará a la hora de recolectar información y hacer el análisis de los datos. La hipótesis de la investigación es importante para hacer el diseño metodológico ya que se necesita para poder responder las preguntar de investigación y cumplir los objetivos. En la Tabla 3 se muestra el diseño.

Tabla 3. Tipo de Diseño

Enfoque	Cuantitativo
Estudio	Experimental
Tipo de Diseño	Transversal
Alcance	Exploratorio
Método	Análisis Técnico
Muestra	No Probabilístico
Técnicas	Pruebas de Laboratorio

Fuente: Propia

Al tener poca información del tema en los medios locales se ha decidido hacer una investigación con alcance exploratorio. Cabe resaltar que la recolección de datos se encontrará con las pruebas de laboratorio, como granulometría, porcentaje de vacíos y prensa Marshall, que se le aplicaran al concreto asfáltico.

4.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

Ulteriormente de dejar plasmado la metódica de la investigación se define la población de estudio y el tamaño de la muestra a la cual se le aplica el instrumento de medición para la obtención de datos.

4.3.1. POBLACIÓN

Una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones (Lepkowski, 2008b). En la investigación de Concreto Asfalto Modificado con Tereftalato De Polietileno Reciclado se ha delimitado la población en las briquetas de mezcla asfáltica que han sido modificados con distintos porcentajes de los residuos del proceso del reciclaje del plástico. La muestra de la investigación es igual a la población. Las briquetas son de 2 ½" (6.35 cm.) de espesor y 4" (10 cm.) de diámetro, mediante procedimientos específicos de calentamiento, mezclado y compactación.

4.3.2. TAMAÑO DE LA MUESTRA

Para la recolección de datos se delimita a un total de 77 mezclas de concreto asfáltico (HMA, Hot Mix Asphalt). Para los valores de estabilidad y flujo se necesitan un mínimo de tres briquetas por porcentaje de sustitución de polímero por bitumen, en este caso se utilizarán cinco porcentajes distintos en dos tipos de polímeros distintos obteniendo un total de 30 briquetas más tres que se utilizan como briquetas de control sin ningún porcentaje de polímero. Con respecto al análisis de vacíos de aire, porcentaje de vacíos de agregado mineral y porcentaje de vacíos llenos de bitumen se utilizarán cuatro mezclas por porcentaje de sustitución de los dos tipos de polímeros teniendo un total de 47 mezclas para ello.

El análisis de laboratorio se hará mediante la elaboración de 77 puntos, las cuales representan la población de la investigación en la Tabla 4.

Tabla 4. Población y Muestra

CONTROL	% DE SUSTITUCIÓN	POLÍMERO A	POLÍMERO B
7	3%	7	7
	6%	7	7
	9%	7	7
	12%	7	7
	15%	7	7

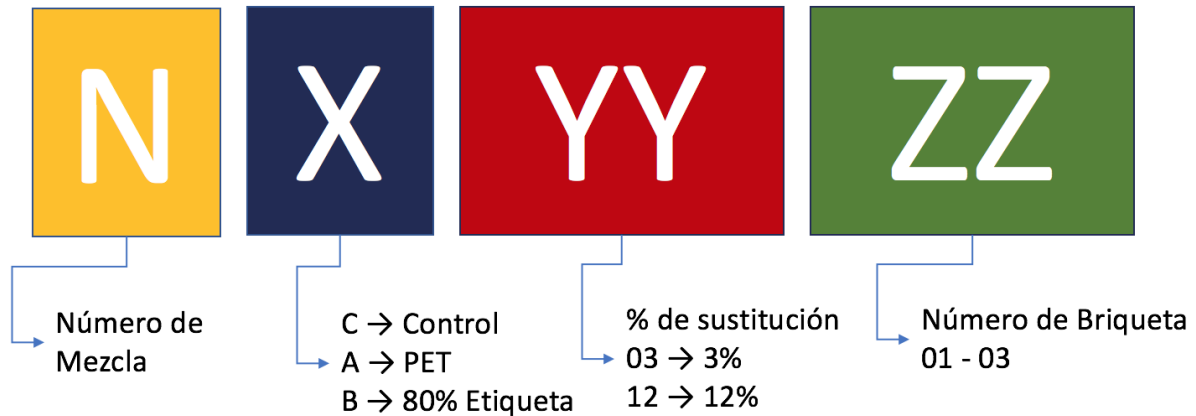
Fuente: Propia

4.3.3. NOMENCLATURA DE MUESTRAS

En la investigación se realizaron probetas, también conocidas como briquetas, estas son muestras compactadas de la muestra asfáltica. Se realizó una nomenclatura dirigida para poder diferenciar las diferentes probetas. La nomenclatura consiste en cuatro partes, *N*, *X*, *YY* y *ZZ*.

N es el número de mezcla. *X*, es representada por las letras A, B y C cada una representando si contenía polímeros y que tipo de polímero contenía. La segunda parte, *YY*, es representado por la numeración de 03-15, la cual indica el porcentaje de sustitución de asfalto por el polímero. La

última parte, ZZ, es representada por la numeración 01-03, la cual indica el número de probeta que es.



EJEMPLOS

2C0002 3A1503 1B0601

Ilustración 3. Diagrama de Nomenclatura de Muestras

4.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Posterior a la definición de la población y muestra de la investigación se prosigue a dar una explicación acerca de las técnicas e instrumentos a utilizar para la recolección de datos significativos.

4.4.1. TÉCNICAS

4.4.1.1 Granulometría

Para un diseño óptimo de concreto asfáltico es necesario tener una buena granulometría de los agregados. Según (Cañas, 2009), por granulometría o análisis granulométrico de un agregado se entenderá todo procedimiento manual o mecánico por medio del cual se pueda separar las partículas constitutivas del agregado según tamaños, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total.

Para separar por tamaños se utilizan las mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas. En la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como porcentajes retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra.

Los números de tamaño (tamaños de granulometría), para el agregado grueso se aplican a las cantidades de agregado (en peso), en porcentajes que pasan a través de un arreglo de mallas.

La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados, así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto.

La siguiente Tabla 5. Tamaño de Tamices describe el tamaño de partículas capaces de pasar por cada tamiz.

Tabla 5. Tamaño de Tamices

TAMIZ	EQUIV. TAMIZ (mm)
1 1/2"	38.1
1"	25.4
3/4"	19.05
1/2"	12.7
3/8"	9.51
No. 4	4.76
No. 8	2.38
FONDO	

Fuente: Manual de Laboratorio UNITEC.

4.4.1.2 Ensayo Marshall

El concepto del método de diseño de mezclas bituminosas fue desarrollado por Bruce Marshall en el Departamento de Carreteras del Estado de Mississippi, en Estados Unidos. En su forma actual, este ensayo surgió de una investigación iniciada por el cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos en 1943 en la búsqueda de un método de diseño y control de pistas de aeropuertos durante la Segunda Guerra Mundial. El cuerpo de ingenieros decidió adoptar el Método Marshall debido en parte a que utilizaba un equipo de fácil manejo, portátil y que podía utilizarse rápidamente en obra. Se realizaron muchos tramos de prueba haciendo servir un tráfico simulado para determinar el comportamiento de las mezclas variando su composición y para

establecer la energía de compactación necesaria al fabricar las probetas con densidad similar a la obtenida en obra. (Uguña, 2016)

El propósito del método de dosificación Marshall es determinar el contenido óptimo de betún para una combinación específica de áridos. Se trata de un ensayo mecánico que consiste en romper briquetas cilíndricas de 101,6 mm de diámetro por 63,5 mm de altura y compactadas mediante un martillo de peso y altura de caída normalizados. Posteriormente se calientan a una temperatura de 60°C y se rompen en la prensa Marshall mediante la aplicación de una carga vertical a través de una mordaza perimetral y una velocidad de deformación constante de 50,8 mm/min para determinar su estabilidad y deformación. Este método establece densidades y contenidos óptimos de vacíos que se han de cumplir durante la construcción del pavimento. (Leiva, Loria, Castro, & Aguilar)

Es importante saber que este ensayo es uno de los más conocidos y utilizados tanto para la dosificación de mezclas bituminosas como para su control en planta mediante la verificación de los parámetros de diseño de las muestras tomadas.

El procedimiento general es realizar todas las mezclas bituminosas fabricadas en caliente con tamaño máximo de agregados de 25 mm en las que el aglomerante sea un betún de petróleo o un alquitrán. Puede aplicarse también a las mezclas fabricadas en frío, aunque con unas adaptaciones específicas a este tipo de mezclas. (Manual de Laboratorio de Asfaltos)

El ensayo Marshall permite la obtención de valores de estabilidad y deformación tanto de briquetas extraídas de un pavimento como de briquetas fabricadas por otros métodos de compactación. El procedimiento es también aplicable al proyecto de mezclas en laboratorio mediante el método Marshall, para lo cual se fabrican y ensayan series de probetas con porcentajes crecientes de ligante, calculando sus densidades relativas y contenido de vacíos. A partir de estos resultados, se puede determinar cuál debe ser el contenido óptimo de ligante de una mezcla de áridos de composición y granulometría determinadas.

Dentro del ensayo Marshall, se manejan cierto tipo de propiedades mecánicas entre las cuales se encuentran las siguientes:

- Estabilidad Marshall: Se entiende por estabilidad Marshall la carga máxima resistida por una probeta multiplicada por un factor de corrección que se aplica de acuerdo con la altura de la probeta antes de ser ensayada.
- Deformación Marshall: Se define como deformación Marshall la disminución del diámetro expresado en mm que experimenta una probeta entre el comienzo de aplicación de carga y el instante de rotura.

A continuación, se enumeran los pasos a seguir para realizar un diseño por el método Marshall correctamente:

1) Obtención de muestra

Cuando se obtienen agregados de un banco de materiales es complicado tener una muestra representativa debido a la segregación de materiales, es decir las partículas más finas caen al fondo mientras las partículas de mayor tamaño están en la base exterior del banco. Debido a esto con la ayuda de una pala cargadora se mezclan los materiales desde el fondo del banco para poder obtener una muestra. La muestra debe ser obtenida de diferentes puntos de donde se mezcló el agregado. En la investigación se contaba con 3 bancos de agregados separados por tamaño de agregados.

2) Secado

Los bancos de agregado usualmente están a la intemperie, es decir que se ven afectados por los diferentes cambios climáticos. Para poder tomar una muestra de cierto peso, es necesario secar la muestra al sol para poder eliminar la humedad que esta puede tener en su superficie. La muestra es colocada al sol y regada libremente, lo cual facilitara su secado.

3) Cuarteo

El proceso de cuarteo tiene la finalidad de homogenizar la muestra de agregados a utilizar. Durante este proceso se mezcla completamente la muestra, previamente secada, traspaleando en una pila cónica, asegurándose que cada paleada vaya sobre la anterior. Con ayuda de la pala, se aplana la parte superior de la pila y luego es dividida en cuatro partes iguales. Se eliminan dos de

las partes diagonales opuestas y se mezcla el material restante. Este proceso se seguirá repitiendo de igual manera hasta reducir la muestra al tamaño necesario.

4) Combinación de agregados

Tras el cuarteo de los agregados, se prosigue a mezclar los tres tipos en una sola muestra homogénea por medio de palas, combinándolas hasta que las partículas de cada uno de los tipos queden distribuidas de manera uniforme.

5) Tamizado

El tamizado es el proceso de separar los agregados por el tamaño de las partículas. Este proceso es realizado con la ayuda de tamices normados por la ASTM. Los tamices que se utilizaron fueron 1/2", 3/8", #4, #8, #30, #50, #100, #200. Estos están compuestos por un marco metálico con una cuadrícula metálica, de alambre o malla, de diferentes tamaños para restringir el paso de las partículas de tamaño mayor. Se organizan por orden descendiente con respecto al tamaño de las aberturas. El proceso de tamizado consiste en colocar una cantidad de agregado, no abundante para permitir el libre movimiento de las partículas, en el tamiz. Este tamiz es sacudido en tres movimientos diferentes: vertical, horizontal y rotacional. El tamizado debe continuar hasta que en un minuto no pase más del 0.5% en base al peso total de agregado utilizado en el tamiz. Este proceso deberá repetirse de igual manera para cada uno de los tamices previamente mencionados.

6) Pesado de puntos

El pesado de los puntos consiste en llenar bolsas con la combinación granulométrica previamente hecha, estos contendrán 1050g distribuidos en los diferentes porcentajes de tamaño de partículas. Se realizaron 7 puntos por cada uno de los porcentajes de polímero que se utilizarían (control, 3%, 6%, 9%, 12% y 15%). En su totalidad se tendrían 77 puntos, ya que se realizarían 7 de control, 35 de 100% PET y 35 de 80% etiqueta.

7) Mezcla de puntos (HMA, Hot Mix Asphalt)

La mezcla de puntos es el proceso en el que se realiza la mezcla asfáltica (agregados, bitumen y los polímeros). Para realizar la mezcla asfáltica, se comienza calentando los materiales. Todos los

materiales deberán estar a 160°C al momento de realizarse la mezcla. Una vez calentados los materiales, se comienza pesando el punto, los agregados, en un recipiente para mezclar. El peso de este deberá ser de 1050g. En el caso que este pese menos de 1050 g, se deberá utilizar filler para llegar a 1050g. En este caso se utilizaron #8 y #30 para que el punto llegara a los 1050g. Luego de ser pesado el punto se colocará el porcentaje de polímero, en base al peso total del asfalto 62.3g. Al ser agregado el polímero rápidamente se colocará la cantidad de asfalto necesaria para que la mezcla llegue a un peso 1112.3g. Una vez pesada la mezcla, se lleva el recipiente a la mezcladora mecánica y esta se encarga de mezclar la mezcla, hasta que esta se vea homogénea. Finalmente, la mezcla es depositada en latas y guardadas en un horno para que esta no pierda su temperatura. Este proceso se repetirá para cada uno de los 77 puntos previstos.

8) Ensayo de densidad teórica

Se utilizan cuatro mezclas previamente dejadas en reposo a 150°C durante dos horas para su maduración. Después se colocan las cuatro mezclas en una bandeja suficientemente grande para que estas puedan ser manipuladas para que sus partículas no se adhieran unas con otras. Se sigue así hasta que la mezcla este suficientemente fría. Posteriormente se cuartea todo el espécimen y se pesan dos muestras de 2000g cada una para ser colocadas en un recipiente metálico en la mesa vibratoria y cubrir con agua exactamente una pulgada arriba de la superficie y después encender la bomba de vacíos por exactamente quince minutos. Una vez terminados los quince minutos se pesa, en el mismo recipiente metálico con ayuda de una jaula, debajo del agua por exactamente diez minutos y el ese peso es la densidad teórica.

9) Ensayo de Superficie Saturada Seca

Se usa la mezcla previamente usada en el ensayo de densidad teórica y se coloca en un recipiente para dejarla secar en la intemperie. Una vez seca, se realiza un pesaje cada quince minutos hasta que el peso deje de variar.

10) Compactación de briquetas

La compactación de las briquetas es realizada con 3 de las 7 latas previamente rellenas con mezcla asfáltica. Para la compactación la mezcla asfáltica debe de estar a 150°C. Una vez la mezcla

llega a la temperatura indicada, esta es vaciada en los moldes para probetas, briquetas. La mezcla es compactada manualmente, con una espátula, con 25 golpes, 10 a los alrededores y 15 al centro. El molde es llevado a la máquina de compactación donde la mezcla será compactada mediante un martillo mecánico, esta será sometida a 75 golpes del martillo por cara. Al terminar el proceso estas son puestas a enfriar y luego son eyectadas con ayuda de un gato hidráulico. El proceso se repetirá de igual manera para todas las briquetas realizadas.

11) Ensayo de Marshall

El objetivo del ensayo de Marshall es conseguir un valor de estabilidad y flujo para la mezcla asfáltica realizada. Para realizar el ensayo primero se deben colocar las probetas, briquetas, en el baño María, precalentado a 60°C, por 45 minutos. Al haber pasado los 45 minutos, estas serán extraídas, una por una, secadas y colocadas en el aparato de Marshall, previamente engrasado. La probeta será sometida a una fuerza hasta que esta falle. La lectura de valor máximo de fuerza será la estabilidad. Al mismo momento en que se está sometiendo la fuerza también tendremos un lector de flujo que indicará cuanto fue la reducción en centésimas de pulgada (1/100"). Una vez terminadas ambas lecturas se repetirá el proceso para las demás probetas.

4.4.2. INSTRUMENTOS

- 1) Termómetro: El termómetro es un instrumento de medición de temperatura. Desde su invención ha evolucionado mucho, principalmente a partir del desarrollo de los termómetros electrónicos digitales.
- 2) Cronometro: El cronómetro es un reloj cuya precisión ha sido comprobada y certificada por algún instituto o centro de control de precisión.
- 3) Balanza: Una balanza es una palanca de primer género de brazos iguales la cual a partir del establecimiento de una situación de equilibrio entre los pesos de los dos cuerpos permite realizar las mencionadas mediciones.
- 4) Moldes Cilíndricos: Deben ser de acero, hierro forjado, PVC u otro material no absorbente, con dimensiones 4" de diámetro y 2 ½" de altura. Antes de usarse los moldes deben ser cubiertos ligeramente con aceite mineral o un agente separador de encofrado no reactivo.

- 5) Martillo de Compactación: Tiene incorporado un martillo de 10 lb (4,5 Kg.) y una caída de 18" (457 mm) con una cara circular de 2" (51 mm). El tubo guía tiene 4 perforaciones en cada extremo para liberar la presión de aire acumulada. Hecho de acero enchapado para mayor resistencia a la oxidación.
- 6) Máquina de Compactación Automática: Máquina con capacidad de contener tres martillos de compactación y compactar automáticamente las briquetas.
- 7) Prensa Marshall: Una máquina para la aplicación de la carga vertical, diseñada especialmente para esta prueba, cuya capacidad es de 3000 Kg. Y también para medir la deformación vertical o flujo del espécimen, con carrera de veinticinco punto cuatro (25.4) milímetros y aproximación de cero punto un (0.1) milímetro.
- 8) Canasta Metálica: La cesta o canasta es un recipiente tejido con mimbres, juncos u otras plantas utilizadas para transportar objetos. Puede ser abierta o cerrada y suele contar con un asa central para facilitar su manejo. En el caso de esta práctica es una cesta metálica la que ha sido utilizada.
- 9) Horno: Un horno es un dispositivo que genera calor y que lo mantiene dentro de un compartimento cerrado. Se utiliza tanto en la cocina para cocinar, calentar o secar alimentos, como en la industria.
- 10) Tamices: Utensilio que se usa para separar las partes finas de las gruesas de algunas cosas y que está formado por una tela metálica o rejilla tupida que está sujeta a un aro.

Eyector del Muestra: Utilizado para extraer las pastillas de sus moldes sin afectar su forma física, ni las propiedades de este.

4.5. UNIDAD DE ANÁLISIS Y RESPUESTA

La unidad de análisis y respuesta son aquellos objetos de estudio de los cuales se va a obtener información. La unidad de análisis es aquella que contiene los datos mientras que la unidad de respuesta se refiere a que información específicamente queremos obtener de los objetos de estudio.

4.5.1. UNIDAD DE ANÁLISIS

Se tendrá como muestra válida todas aquellas briquetas que hayan pasado todo el proceso de laboratorio sin sufrir un cambio no previsto que pueda alterar los resultados de la investigación. Las briquetas deben tener los tamaños especificados del ensayo Marshall, son cilíndricas de 101,6 mm de diámetro por 63,5 mm de altura y compactadas mediante un martillo de peso y altura de caída normalizados.

4.5.2. UNIDAD DE RESPUESTA

Como unidad de respuesta se tendrán aquellos datos conseguidos por el ensayo Marshall de briquetas que no hayan sufrido deformación física o sido expuestos a altas temperaturas que puedan alterar los datos esperados. Se podrán obtener los resultados de vacíos por medición de pesos y volúmenes. Y los valores de estabilidad y flujo con la prensa Marshall.

El procedimiento para la realización de las muestras se va a regir por las siguientes normas del American Association of State Highway and Transportation Officials.

- 1) Norma AASHTO T 209
- 2) Norma AASHTO T 166
- 3) Norma AASHTO T 245
- 4) Norma AASHTO T 269

El diseño se considera para tráfico pesado y por lo tanto según las normas anteriores se deben cumplir los siguientes criterios para que las muestras del proyecto sean consideradas como válidas para la recopilación de datos.

- 1) Temperatura de Mezclado: Al momento de mezclar en una mezcladora normada, todos los componentes deben cumplir con la temperatura específica de 160°C para cuidar las propiedades viscoelásticas del bitumen.
- 2) Peso de muestra para densidad teórica: El peso mínimo para el procedimiento de densidad teórica de una muestra de concreto asfáltico debe de ser de 1500g.

- 3) Peso de muestra para superficie saturada seca: El peso mínimo de la superficie saturada seca debe de ser de 1500g, usado específicamente el peso utilizado para la densidad teórica.
- 4) Peso de muestra para briquetas: El peso mínimo de para la realización de una briketa representativa de una mezcla de concreto asfaltico debe de ser de 1200 ± 100 g.
- 5) Golpes para compactación: Según la norma AASHTO T 245, las briquetas deben ser compactadas por un martillo de compactación Marshall, con 75 golpes por lado.
- 6) Temperatura de compactación: Según la norma AASHTO T 245, la mezcla debe estar a una temperatura de 150°C para ser compactada.
- 7) % de vacíos aceptable: Según la norma AASHTO T 269, el concreto asfaltico debe de cumplir con un porcentaje de vacíos llenos de aire entre 3% a 5%.
- 8) Estabilidad mínima: El concreto asfaltico debe de tener mínimo de estabilidad de 2810 libras.
- 9) Flujo mínimo: El flujo mínimo que debe tener el asfalto es de 11×10^{-2} pulgadas.

4.6. MATERIALES

Una vez aclarado las unidades de análisis y respuesta se sigue a dar una descripción de los materiales a utilizar en la investigación. En este caso hay solamente cuatro materiales que tendrán un rol.

- 1) Bitumen: Tipo AC-30, bitumen modificado proporcionado por UNO con alta ductilidad. Ver Anexo Y para hoja técnica del bitumen.
- 2) Agregados: Originarios de banco de agregados de PRODECON en Cofradía, compuestos por tamaños nominales de $\frac{3}{4}$ " , $\frac{3}{8}$ " y $\frac{1}{4}$ "
- 3) Polímero A: Proporcionado por INVEMA, polímero proveniente del desecho del proceso de reciclaje de PET. Compuesto 100% de partículas de PET.
- 4) Polímero B: Proporcionado por INVEMA, polímero proveniente del desecho del proceso de reciclaje de PET. Compuesto por partículas de etiqueta de botellas plásticas y PET, un 80% y 20% respectivamente.

4.7. FUENTES DE INFORMACIÓN

Las fuentes de información son esenciales en cualquier tipo de trabajo de investigación. Validar información con base en investigación pasadas o información de distintos libros ayuda en la estructura del marco teórico y el marco conceptual. Las fuentes de información se dividen en dos tipos, las fuentes primarias y las fuentes secundarias.

4.7.1. FUENTES PRIMARIAS

- Metodología de la Investigación por Roberto Hernández Sampieri
- Manual Centroamericano de Pavimentos
- Ingeniería de Pavimentos por Alfonso Montejó Fonseca
- Norma AASHTO

4.7.2. FUENTES SECUNDARIAS

4.7.2.1 Tesis Publicadas

- Estudio De Laboratorio para la Caracterización como Material de Firmes de Carreteras de los Plásticos Procedentes del Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos por Miguel Ángel del Val Melúz
- Diseño De Mezclas Asfálticas Modificadas Mediante La Adición De Polímeros Por Furigua y Pedraza

4.7.2.2 Manuales de Apoyo

- Manual de Laboratorio de Asfalto de la Universidad Tecnológica Centroamericana
- Análisis De Tamaño De Partículas Por Tamizado

4.7.2.3 Artículos Científicos

- " Hay tantos residuos de plástico en el mundo que podrían cubrir un país como Argentina": la advertencia de un grupo científicos sobre la contaminación que acecha al nuestro planeta. *BBC News Mundo*.
- World Asphalt Industry Study with Forecasts for 2015 & 2020. *Freedonia Group*.

4.8. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 6. Cronograma de Actividades

ACTIVIDAD	DURACIÓN	INICIO	FINAL
1ra Reunión de la Clase Proyecto 1	1 día	18/7/2018	18/7/2018
Presentación de Propuesta de Investigación	1 día	25/7/2018	25/7/2018
Primer avance de Proyecto	1 día	2/8/2018	2/8/2018
Reunión en INVEMA	1 día	8/8/2018	8/8/2018
Reunión con PRODECON	1 día	10/8/2018	10/8/2018
Visita Plantel Concretos Olímpicos	1 día	14/8/2018	14/8/2018
Practica de Ensayos de Laboratorio	1 día	24/8/2018	24/8/2018
Tamizado de 150kg de Agregados para Mezcla 1	1 día	27/8/2018	27/8/2018
Pesaje puntos de Mezcla 1	2 días	28/8/2018	29/8/2018
Primeras Pruebas Diseño 1	3 días	30/8/2018	1/9/2018
Análisis y resultado Diseño 1	2 días	2/9/2018	3/9/2018
Tamizado de 150kg de Agregados para Mezcla 1	3 días	4/9/2018	7/9/2018
Pesaje puntos de Mezcla 2	3 días	10/9/2018	12/9/2018
Pruebas Mezcla 2	3 días	13/9/2018	16/9/2018
Análisis y resultado Mezcla 2	2 días	17/9/2018	18/9/2018
Pruebas Mezcla 3	6 días	20/9/2018	25/9/2018
Análisis y resultado Diseños 3	4 días	26/9/2018	29/9/2018
TOTAL	36 días		

Fuente: Propia

CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

En total, se realizó de tres conjuntos de pruebas. A continuación, se presentan únicamente los resultados de los cálculos con sus respectivos comentarios. Los valores crudos obtenidos utilizados para los cálculos están disponibles en: Anexo H para las lecturas de los ensayos a briquetas y Anexo I para las lecturas de los ensayos de densidad teórica. Además, en cada mezcla se indican los anexos que contienen sus cálculos correspondientes en la sección de resultados de cada mezcla.

5.1. DISEÑO MEZCLAS 1

El conjunto de Mezclas 1 consiste en un punto de control con cinco punto seis (5.6) por ciento de asfalto, cinco porcentajes de sustitución con el Polímero A y cinco porcentajes de sustitución con el Polímero B. No obstante, los vacíos de aire de la mezcla de control no resultaron aceptables del 3%-5%, por lo que todas las muestras de este diseño inicial no cumplen con los parámetros muestrales y por lo tanto no se realizaron todos los puntos. Solo se realizó los ensayos a las mezclas que ya se encontraran compactadas para obtener datos iniciales de referencia. Además, durante la preparación preliminar de los ensayos el polímero B resulto no apto para una mezcla asfáltica. Los cálculos preliminares y resultados se muestran a continuación.

5.1.1. CÁLCULOS PRELIMINARES

Según la granulometría proporcionada por el laboratorio de los tres bancos de agregados disponibles, la combinación que cumple con los límites granulométricos es de 15% de agregado del banco de 3/4", 30% del banco de agregados de 3/8" y 55% del banco de agregados de 1/4".

Anexo A. Esta combinación resulta en la curva granulométrica mostrada en la Ilustración 4 en la siguiente página.

La curva resultante cumple con los límites de tolerancia máximos y mínimos para agregados para mezcla asfáltica. Se tomó el peso equivalente a el porcentaje determinado de cada banco de agregados para un total de ciento cincuenta (150) kilogramos.

Los pesos por tamaño de agregado, polímeros y bitumen están calculados para una mezcla con mil cincuenta (1050) gramos de agregado. La suma de la cantidad en peso del bitumen más la cantidad en peso polímero es constante para todos los porcentajes de sustitución. En la Ilustración 4. Curva Granulométrica de Combinación inicial se muestra el peso de cada tamaño de agregado tamizado y de bitumen más polímeros para cada punto.

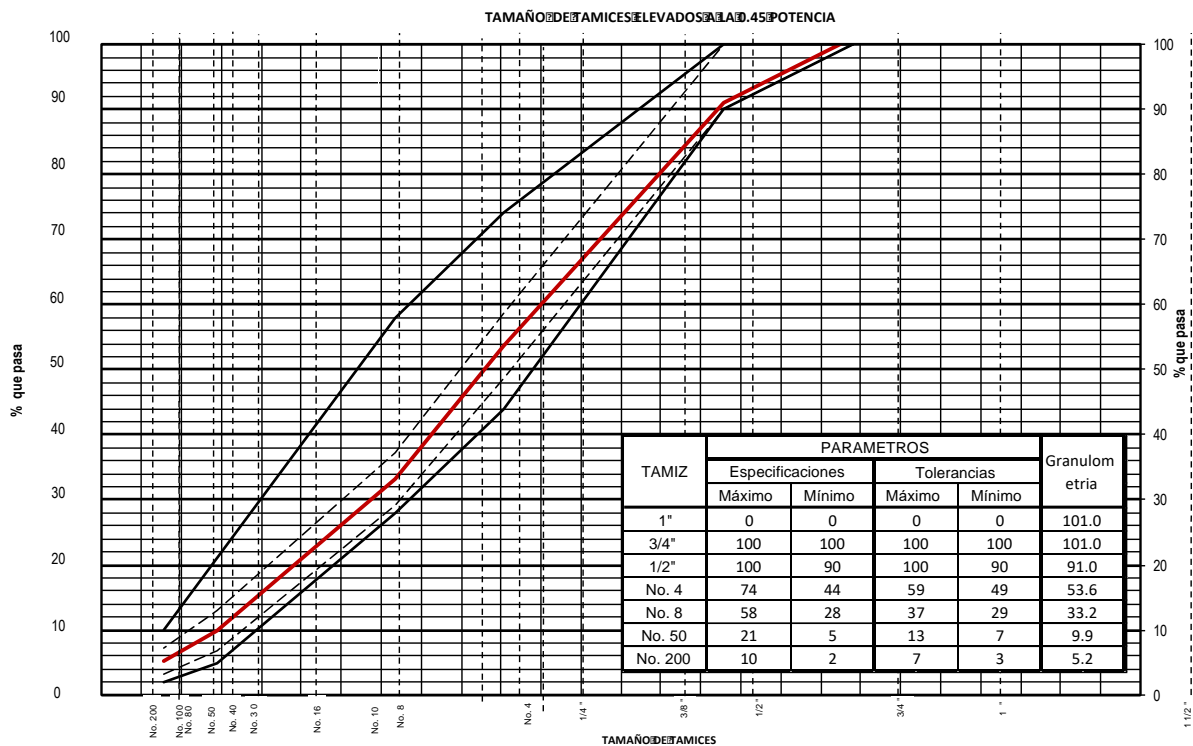


Ilustración 4. Curva Granulométrica de Combinación inicial

Fuente: PRODECON

Tabla 7. Pesos de Bitumen y Agregado

ITEM	PESO
Bitumen + Polímero Reciclado (5.6%)	62.3 g
Agregado Retenido en 1/2"	88.2 g
Agregado Retenido en 3/8"	159.6 g
Agregado Retenido en #4	463.1 g
Agregado Retenido en #8	653.1 g
Agregado Retenido en fondo	396.9 g
TOTAL	1112.3 g

Fuente: Propia

La Tabla 8. Peso de bitumen y polímeros para cada % de sustitución en Mezcla 1 contiene los pesos de bitumen y de polímero para cada porcentaje de sustitución. Ver Anexo B para tabla completa con pesos para cada tamaño de agregado, bitumen y polímero.

Tabla 8. Peso de bitumen y polímeros para cada % de sustitución en Mezcla 1

% DE SUSTITUCIÓN	PESO BITUMEN	PESO POLIMERO
0 (Control)	62.3 g	0 g
3	60.4 g	1.81 g
6	58.6 g	3.74 g
9	56.7 g	5.61 g
12	54.8 g	7.48 g
15	53.0 g	9.35 g

Fuente: Propia

5.1.2. RESULTADOS DE CONTROL Y POLÍMERO A

Es importante denotar que para esta primera mezcla los vacíos de aire de la mezcla de control no resultaron dentro de los criterios aceptables por lo que todas las muestras de este diseño no cumplen con los parámetros muestrales. Por lo tanto, solo se muestran los resultados para la mezcla de control y de 3% de sustitución ya que estas fueron las únicas que se realizaron en su totalidad antes de obtener los resultados de vacíos para la mezcla de control. Ver de Anexo J a Anexo L para la tabla completa de cálculos.

En la Tabla 9. Resultados de Mezcla 1 y en la Ilustración 5 se muestran los resultados para la mezcla de control y con tres por ciento de sustitución.

Tabla 9. Resultados de Mezcla 1

ITEM	CONTROL	3% DE SUSTITUCIÓN
Densidad BULK	2.274 $\frac{g}{cm^3}$	2.269 $\frac{g}{cm^3}$
% VA	6.57	6.53
% VFA	70.0	70.4
% VMA	21.9	22.9
Estabilidad	3310.6 lb	4194.1 lb
Flujo	0.11"	0.11"

Fuente: Propia

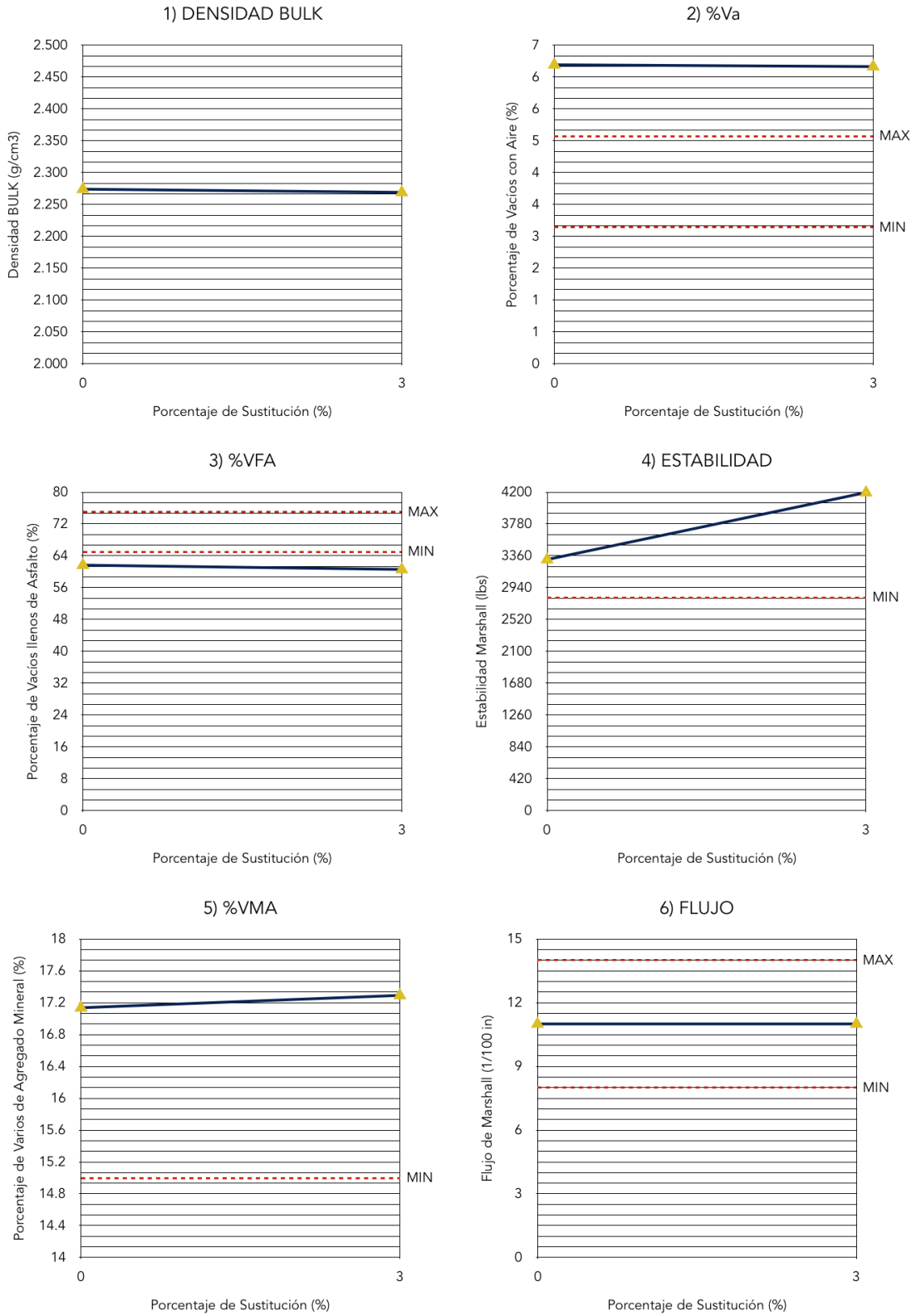


Ilustración 5. Gráficas de Resultados Mezcla 1

Fuente: Propia

En general los resultados de la mezcla de control con la de tres por ciento de sustitución se encuentran bastante parejos a excepción de la estabilidad donde en la mezcla con sustitución aumenta un 26%. Este aumento es podría significar que la adición del polímero A mejora substancialmente el comportamiento físico de la mezcla, pero debe ser verificada con el siguiente conjunto de mezclas

Como se muestra en la Gráfica 2 de la Ilustración 5 el porcentaje de vacíos de ambas muestras no cumple con los parámetros mínimos y máximos.

Hay tres razones por la cual una mezcla puede presentar altos porcentajes de vacíos:

- 1) La mezcla no cuenta con suficiente bitumen.
- 2) La granulometría no cuenta con una suficiente cantidad de finos que pasen por el tamiz #200.
- 3) Los procedimientos realizados no cumplen con las indicaciones de las normas.

Ya que se cuenta con resultados de diseños anteriores elaborados por PRODECON y es evidente que el porcentaje de bitumen seleccionado es adecuado y se descarta la posibilidad UNO.

Para verificar la posibilidad DOS se realizó ensayos de granulometría a las bolsas de agregado ya pesadas. El resultado de esta granulometría se muestra en el Anexo E. El porcentaje de agregado que pasa del tamiz #200 resulta de 2.9%, menor que el $5.0 \pm 1\%$ recomendable. Con este resultado identificamos el problema y se propone tamizar por el tamiz #30, #50, #100 y #200 para pesar y tener una granulometría más exacta. Es posible la pérdida de finos haya ocurrido durante el proceso de tamizado, pesado y traslado de material.

Siempre existe una posibilidad de error humano o del equipo utilizado y no se puede descartar la posibilidad TRES. Sin embargo, los procedimientos fueron realizados en conjunto con laboratoristas certificadas, los equipos son calibrados periódicamente por empresas externas supervisoras y el laboratorio está certificado por ISO 9001.

5.1.3. RESULTADOS POLÍMERO B

El polímero B está conformado por combinación de un 80% de diferentes polímeros provenientes de etiqueta de botellas plásticas trituradas y 20% de partículas de PET triturado. Al calentar el polímero a la temperatura indicada por la norma AASTHO T 245 (160°C) se observa que:

- 1) Las partículas de etiqueta se adhieren a las partículas de PET generando grumos de hasta media pulgada de diámetro.
- 2) El polímero libera gases. Al abrir el horno se observa un gas verdoso. Es posible que sea producto de los químicos de la tinta en las etiquetas.
- 3) Después de ser calentada la etiqueta muestra una contextura tostada y un cambio de color a uno más oscuro.

La única manera de utilizar este polímero sería agregarlo a la mezcla sin calentarlo, no cumpliendo con la norma. Esto no afectaría significativamente las propiedades reológicas del bitumen ya que la cantidad de polímero que se agrega a la mezcla no es mucha y no disminuiría la temperatura drásticamente. Aun así, se descarta el uso del polímero B en los diseños de la mezcla asfáltica ya que los gases liberados podrían ser perjudicial para la salud del personal del laboratorio y no se sabe si podría causar daño a el equipo.

5.2. DISEÑO MEZCLA 2

El conjunto de Mezclas 2 al igual que la mezcla anterior consiste en un punto de control con cinco punto seis (5.6) porciento de bitumen y cinco puntos con distintos porcentajes de sustitución con el Polímero A. En consecuencia, de los resultados de la mezcla 1, no se realizaron pruebas con el Polímero B y se modificó la tabla de pesos incorporando hasta el tamiz #200 para corregir la granulometría.

5.2.1. CÁLCULOS PRELIMINARES

Para este conjunto de muestras no se calculó los pesos por tamaño de agregado utilizando la combinación granulométrica de los tres tipos de agregados ya que se tamizo hasta el tamiz #200. Se calculó directamente del peso necesario por tamaño de agregado que hiciera cumplir los agregados con la curva granulométrica.

Nuevamente los pesos por tamaño de agregado, polímeros y bitumen están calculados para una mezcla con mil cincuenta (1050) gramos de agregado. La suma de la cantidad en peso del bitumen más la cantidad en peso polímero es constante para todos los porcentajes de sustitución. En la Tabla 10. Pesos de Bitumen y Agregado de Mezcla 2 se muestra los nuevos pesos de cada tamaño de agregado tamizado y de bitumen más polímeros para cada punto.

Tabla 10. Pesos de Bitumen y Agregado de Mezcla 2

ITEM	PESO
Bitumen + Polímero Reciclado (5.6%)	62.3 g
Agregado Retenido en 1/2"	85.0 g
Agregado Retenido en 3/8"	153.3 g
Agregado Retenido en #4	484.1 g
Agregado Retenido en #8	709.8 g
Agregado Retenido en #30	903.0 g
Agregado Retenido en #50	948.2 g
Agregado Retenido en #100	978.6 g
Agregado Retenido en #200	997.5 g
Agregado Retenido en fondo	52.5 g
TOTAL	1112.3 g

Fuente: Propia

La Tabla 11. Peso de bitumen y polímeros para cada % de sustitución en Mezcla 2 contiene los pesos de bitúmenes y de polímeros para cada porcentaje de sustitución. Ver Anexo C para tabla completa con pesos para cada tamaño de agregado, bitumen y polímero.

Tabla 11. Peso de bitumen y polímeros para cada % de sustitución en Mezcla 2

% DE SUSTITUCIÓN	PESO BITUMEN	PESO POLIMERO
0 (Control)	62.3 g	0 g
3	60.4 g	1.81 g
6	58.6 g	3.74 g
9	56.7 g	5.61 g
12	54.8 g	7.48 g
15	53.0 g	9.35 g

Fuente: Propia

Para evitar problemas con la granulometría, se realizó un ensayo de granulometría a un punto pesado (Ver Anexo F) antes de ser mezclado y una vez mezclado se removió el bitumen de los agregados mediante el horno ignición y se le realizó el ensayo de granulometría (Ver Anexo G). En ambos ensayos los resultados cumplieron con los parámetros aceptables de granulometría y de porcentaje de finos.

5.2.2. RESULTADOS

En este conjunto de pruebas si se realizó en su totalidad. En la Tabla 11. Peso de bitumen y polímeros para cada % de sustitución en Mezcla 2 se resumen los resultados obtenidos y en la Ilustración 6 en la siguiente página se muestran los resultados en gráficas. Ver de Anexo M a Anexo S para la tabla completa de cálculos.

Tabla 12. Resultados de Mezcla 2

ITEM	CONTROL	3%	6%	9%	12%	15%
D. BULK	2.326 $\frac{g}{cm^3}$	2.282 $\frac{g}{cm^3}$	2.271 $\frac{g}{cm^3}$	2.250 $\frac{g}{cm^3}$	2.228 $\frac{g}{cm^3}$	2.249 $\frac{g}{cm^3}$
% VA	4.41	6.59	6.70	7.92	7.57	8.09
% VFA	71.29	59.48	58.37	52.90	52.38	48.26
% VMA	15.37	16.97	17.46	18.12	18.28	18.37
Estabilidad	3454.0 lb	3376.4 lb	3033.5 lb	2655.4 lb	2898.9 lb	2855.9 lb
Flujo	0.09"	0.11"	0.13"	0.16"	0.14"	0.15"

Fuente: Propia

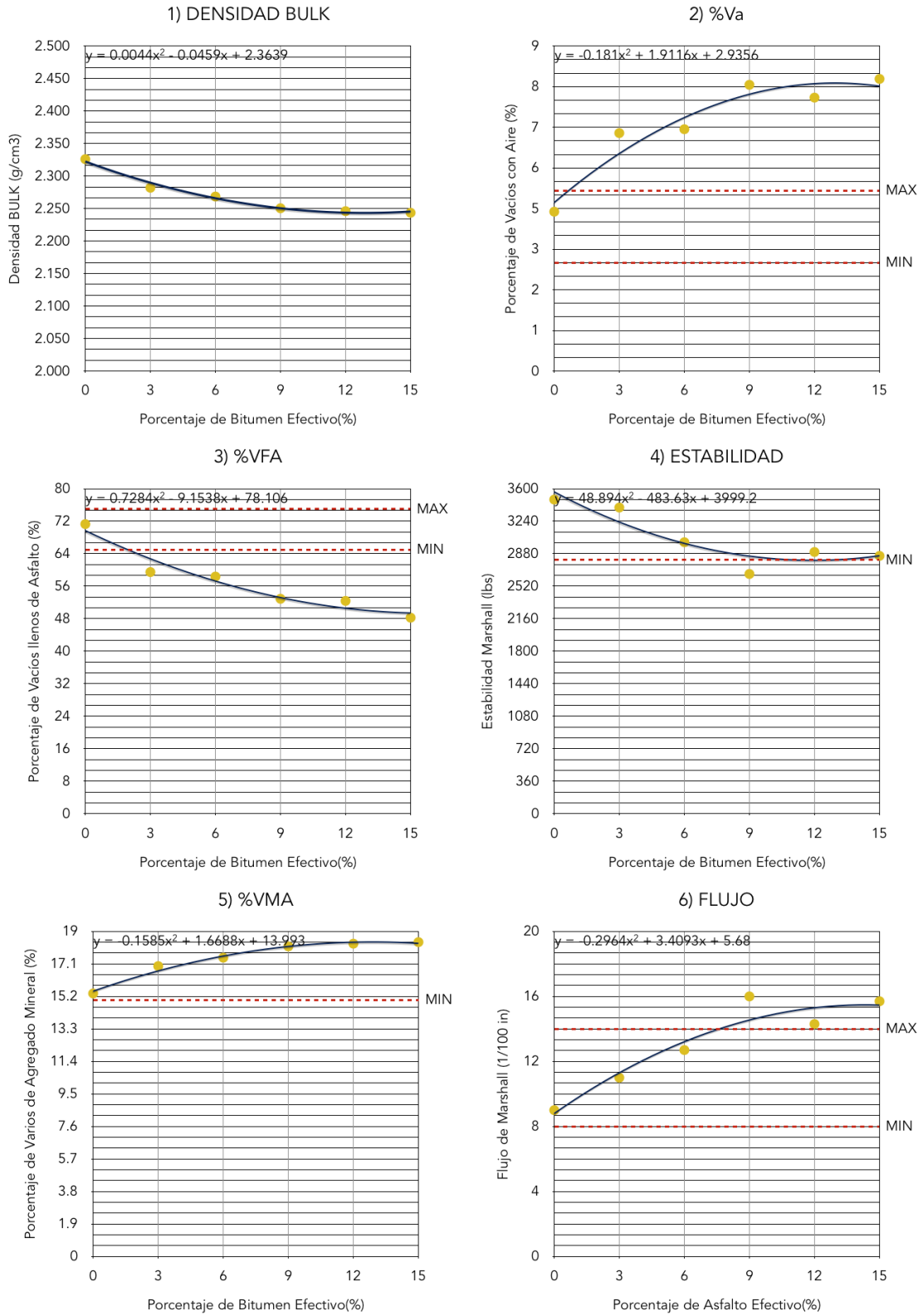


Ilustración 6. Gráfica de Resultados de Mezcla 2

Fuente: Propia

1) Densidad BULK

Se espera que los resultados de la densidad BULK de la Mezcla 2 sean mayores que los de la Mezcla 1 ya que se deberían reducir los vacíos. Este fue el caso tanto para el control como para la mezcla con tres por ciento de sustitución. En la Gráfica 1 de la Ilustración 6 se muestran los resultados graficados.

Las mezclas con sustitución de plástico de esta mezcla resultaron en una disminución de la densidad BULK de un 1.93% a 3.31% en comparación a la mezcla de control. Esta disminución contradice los resultados esperados ya que el peso específico del bitumen es de 1.03 g/cm^3 (Anexo Y) y la del Polímero A es de 1.33 g/cm^3 (Anexo Z). Por lo tanto, era de esperarse que al sustituir una sustancia con un peso específico menor con una de un peso específico mayor era de esperarse un aumento en el peso específico total de la mezcla.

Este resultado es producto de que el volumen de las briquetas aumenta según se sustituye asfalto por Polímero A.

2) Porcentajes de Vacíos de aire, llenos de bitumen y de agregado mineral

El porcentaje de vacíos de aire (%Va) cumple para la mezcla de control, pero no cumple para ninguno de los porcentajes de sustitución. Solo el tres y seis por ciento de sustitución se encuentran dentro de los parámetros recomendables de vacíos llenos de bitumen (%VFA). Todos los porcentajes están por encima del mínimo de vacíos de agregado mineral (%VMA). En la Gráfica 2, 3 y 5 de la Ilustración 6 se muestran las gráficas de los resultados.

La sustitución provoca un aumento drástico de vacíos de un 50% con tres por ciento y un aumento del 80% de vacíos para una mezcla con quince por ciento de sustitución con respecto a la mezcla de control.

Los resultados de la Mezcla 1 el %Va no presenta un aumento drástico, por lo tanto, es posible que como la mezcla de control de la Mezcla 1 posee porcentajes de vacíos altos entonces el Polímero A tiene suficiente espacio disponible para llenarlos. En cambio, en esta mezcla, al tener un porcentaje de vacíos del control es más bajo el polímero podría no encontrar espacios que llenar y más bien aumentar el volumen de la muestra. Al aumentar el volumen y mantener una

masa constante para todos los puntos disminuye la densidad BULK, y aumentar el espacio entre el agregado y asimismo el %VMA. Es de esperarse que según se sustituya más bitumen, menos será el bitumen disponible para llenar vacíos y disminuye el %VFA. También es posible que los vacíos aumenten al haber menos bitumen que una la mezcla.

Se esperaba que el Polímero A contribuyera a disminuir los vacíos de aire, pero como muestran los resultados, es lo contrario al agregarlo a una mezcla que cumple con los parámetros para tráfico pesado. Aun se existe la posibilidad de que si contribuya a los vacíos de una mezcla más abierta. Para disminuir el porcentaje de vacíos se puede agregar más bitumen y/o más finos.

3) Estabilidad y Flujo de Marshall

A excepción de la mezcla con nueve por ciento de sustitución, todas las mezclas cumplen con la estabilidad mínima, pero solo la de control, tres y seis por ciento cumplen con los parámetros de flujo.

Generalmente el valor de flujo aumenta según aumenta el porcentaje de bitumen en la mezcla. En el caso de esta mezcla el porcentaje de bitumen real más bien disminuye. Este resultado indica que el Polímero A reduce significativamente la fricción en la mezcla, aumentando el flujo. El valor de estabilidad es afectado por el porcentaje de vacíos, para mejorarlo se debe agregar más asfalto y/o más finos.

5.2.3. OBSERVACIONES

Es aparente que el PET no contribuye para ligar el agregado en la mezcla asfáltica. Por lo tanto, es necesario realizar ciertas revisiones considerándolo como agregado. Se revisó la granulometría incorporando el PET como agregado y los cambios en la granulometría no resultaron significativos incluso para el porcentaje de sustitución más alto.

En la Ilustración 7 se compara los resultados de la Mezcla 2 con resultados de un diseño con los mismos agregados, el mismo bitumen y sin PET realizado anteriormente por el laboratorio. Para la comparación se calcula el porcentaje efectivo de bitumen como el porcentaje de control de bitumen menos porcentaje de control de bitumen multiplicado por el porcentaje de sustitución.

- Mezcla con Polimero
- Mezcla sin Polimero

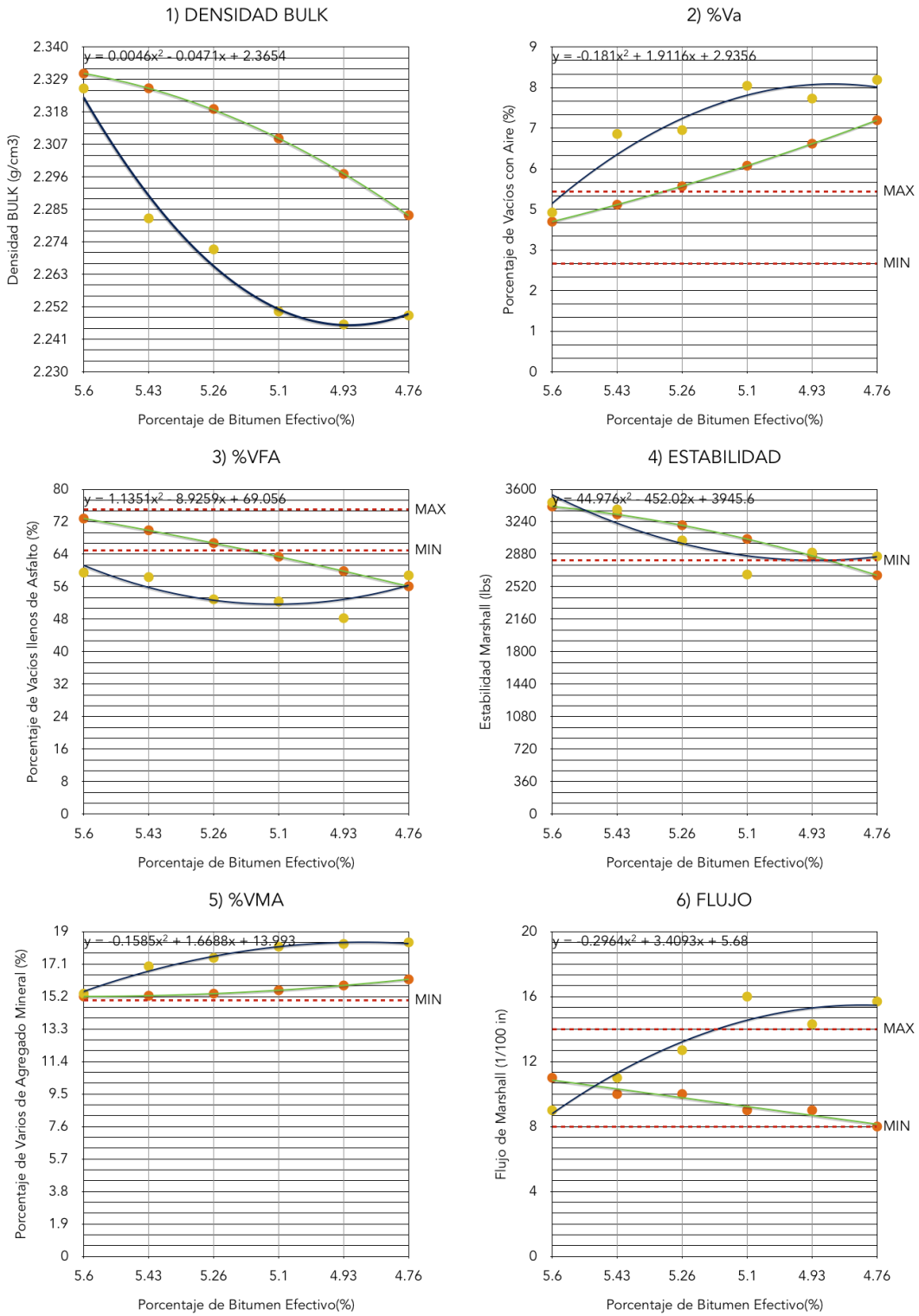


Ilustración 7. Gráficas de Mezcla 2 VC Mezcla sin PET

Fuente: Propia

Es importante mencionar que, aunque se utilizan los mismos agregados y el mismo bitumen para la mezcla realizada por el laboratorio (Ver en Anexo W) la granulometría de las mezclas no es la misma. Por esta razón no es correcto comparar uno a uno los resultados, pero si se pueden comparar la tendencia de estos. Por ejemplo, se observa que la densidad BULK de la mezcla sin PET va reduciendo de manera más gradual y en la mezcla con PET es reducida bruscamente desde el primer porcentaje de sustitución.

El porcentaje de vacíos de aire de ambas mezclas inicia de un valor similar, pero aumenta con la adición de PET, confirmando los resultados anteriores que el PET aumenta los vacíos y no necesariamente es por la carencia de bitumen para unir la mezcla. También existe una diferencia similar en el %VMA.

El valor de vacíos llenos de asfalto y de estabilidad se mantienen parecidas en ambos casos, pero difieren drásticamente con en el valor de flujo.

5.3. DISEÑO MEZCLA 3

Por los resultados obtenidos de la Mezcla 2 y considerando que el tiempo solo permitiría realizar pruebas para dos puntos más, se decidió realizar dos puntos adicionando el Polímero A, pero no como sustitución, sino como un porcentaje del total de la mezcla. Además, se aumentó el porcentaje de bitumen a 5.75% para reducir los vacíos.

Para el primer punto se utilizó 0.52% de la mezcla total de Polímero A, el equivalente a un 9% del bitumen, pero como adición. Se seleccionó 9% porque es el porcentaje con mayor posibilidad de mejora de los resultados anteriores. Para el segundo se eligió 2% de la mezcla total de Polímero para observar si el comportamiento de la mezcla sigue las mismas tendencias con incluso con más PET.

Los datos para el punto de control se obtuvieron de los resultados para 5.75% de bitumen del diseño realizado por el laboratorio del Anexo W.

5.3.1. CÁLCULOS PRELIMINARES

Para este conjunto de pruebas la granulometría de los agregados permanece igual que la de la mezcla anterior, pero en este caso la suma del peso del bitumen más el peso del polímero difiere para cada porcentaje. En la Tabla 13 se muestra el peso del bitumen, agregados y el peso del polímero para cada porcentaje de adición siempre calculado para una mezcla con 1050 g de agregados por punto.

Tabla 13. Peso de bitumen y polímeros para cada % de adición en Mezcla 3

% POLIMERO A	PESO BITUMEN	PESO AGREGADOS	PESO POLIMERO
0	64.06 g	1050 g	0 g
0.52	64.41 g	1050 g	5.83 g
2	65.45 g	1050 g	22.76 g

Fuente: Propia

5.3.2. RESULTADOS

En la Tabla 14 se resumen los resultados obtenidos y en la Ilustración 8 en la siguiente página se muestran los resultados en gráficas. Ver de Anexo T a

Anexo V para la tabla completa de cálculos.

Tabla 14. Resultados de Mezcla 3

ITEM	CONTROL	0.52%	2%
D. BULK	2.334 $\frac{g}{cm^3}$	2.290 $\frac{g}{cm^3}$	2.185 $\frac{g}{cm^3}$
% VA	3.77	4.95	8.82
% VFA	15.2	17.3	22.3
% VMA	15.2	17.3	22.3
Estabilidad	3458.0 lb	3024.7 lb	2739.8 lb
Flujo	0.11"	0.16"	0.16"

Fuente: Propia

Para estas el único valor variable es porcentaje de PET en la mezcla, por lo tanto, se puede concluir de manera definitiva que el PET aumenta el %Va, el %VMA, el flujo y disminuye el %VFA, la densidad BULK y estabilidad. Aun así, la mezcla con 0.52% de PET cumple con los parámetros de una mezcla asfáltica para tráfico pesado a excepción del flujo. Según las líneas de tendencia de la gráfica de flujo de la Ilustración 8 una mezcla con 0.25% de plástico podría cumplir con todos los parámetros.

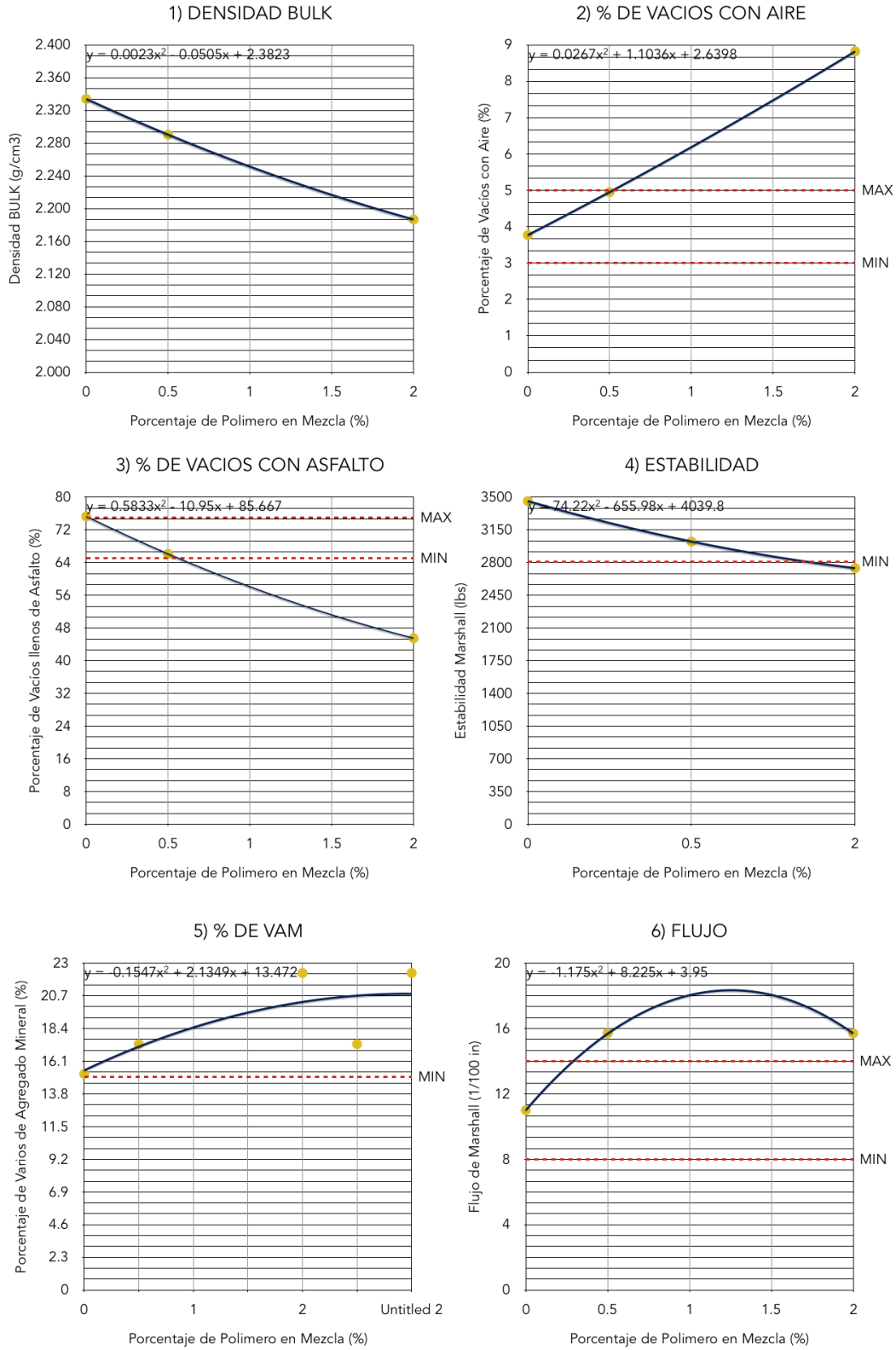


Ilustración 8. Gráficas de resultados de Mezcla 3

Fuente: Propia

5.4. ANÁLISIS ECONÓMICO

A continuación, se presenta el análisis de comparación económico de los resultados obtenidos en la investigación con los convencionales.

5.4.1. Mezcla Convencional

En la siguiente Tabla 15. Rendimientos de Mezcla de Control detallamos los componentes de rendimientos en base a metro cubico de mezcla asfaltico con la mezcla de control.

Tabla 15. Rendimientos de Mezcla de Control

Material	Unidad	% de Volumen	Rendimiento
Agregado 3/4"	m3	12.7%	0.127
Agregado 3/8"	m3	25.4%	0.254
Agregado 1/4"	m3	46.6%	0.466
Polímero	m3	0.00%	0.000
Bitumen	Gal	10.96%	28.951
Vacíos	m3	4.41%	0.044

Fuente: Propia

Tabla 16. Ficha de Costo Mezcla Control

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	RENDIMIENTO	PRECIO	COSTO
		A	UNIT.	UNIT.
ASFALTO AC-30	Gal	28.951	43.70	1265.14
AGREGADO 3/8	m3	0.254	212.43	53.97
DIESEL	Gal	2.553	81.00	206.79
AGREGADOS 3/4	m3	0.127	212.43	26.98
AGREGADO FINO PARA ASFALTOS	m3	0.466	212.43	98.94
Costo Total (Lps)				1651.82

Fuente: Propia

5.4.2. MEZCLA CON 0.5%

En la siguiente Tabla 17. Rendimiento en Mezcla de 0.5% detallamos los componentes de rendimientos en base a metro cubico de mezcla asfaltico con la mezcla de 0.5%.

Tabla 17. Rendimiento en Mezcla de 0.5%

Material	Unidad	% de Volumen	Rendimiento
Agregado 3/4"	m3	12.4%	0.127
Agregado 3/8"	m3	24.8%	0.254
Agregado 1/4"	m3	45.5%	0.466
Polímero	m3	0.89%	0.000
Bitumen	Gal	11.41%	30.142
Vacios	m3	4.95%	0.044

Fuente: Propia

Tabla 18. Ficha de Costo Mezcla de 0.5%

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	RENDIMIENTO	PRECIO	COSTO
		A	UNIT. B	UNIT. C=A*B
ASFALTO AC-30	Gal	30.142	43.70	1317.21
AGREGADO 3/8	m3	0.248	212.43	52.73
DIESEL	Gal	2.553	81.00	206.79
AGREGADOS 3/4	m3	0.124	212.43	26.36
AGREGADO FINO PARA ASFALTOS	m3	0.455	212.43	96.67
Costo Total (Lps)				1699.76

Fuente: Propia

5.4.3. MEZCLA DE 2%

En la siguiente Tabla 17. Rendimiento en Mezcla de 0.5% detallamos los componentes de rendimientos en base a metro cubico de mezcla asfaltico con la mezcla de 2%

Tabla 19. Rendimiento Mezcla 2%

Material	Unidad	% de Volumen	Rendimiento
Agregado 3/4"	m3	11.7%	0.117
Agregado 3/8"	m3	23.3%	0.233
Agregado 1/4"	m3	42.7%	0.427
Polímero	m3	3.29%	0.033
Bitumen	Gal	10.14%	26.776
Vacíos	m3	8.88%	0.089

Fuente: Propia

Tabla 20. Fichas de Costo Mezcla de 2%

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	RENDIMIENTO	PRECIO	COSTO
		O	UNIT.	UNIT.
		A	B	C=A*B
ASFALTO AC-30	Gal	26.776	43.70	1170.13
AGREGADO 3/8	m3	0.233	212.43	49.52
DIESEL	Gal	2.553	81.00	206.79
AGREGADOS 3/4	m3	0.117	212.43	24.76
AGREGADO FINO PARA ASFALTOS	m3	0.427	212.43	90.78
		Costo Total (Lps)		1541.99

Fuente: Propia

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

- 1) La sustitución de un porcentaje de bitumen por Polímero A (PET) en una mezcla asfáltica aumenta el porcentaje de vacíos (Va), porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA) y el flujo con respecto a una mezcla convencional. La sustitución disminuye la estabilidad con respecto a una mezcla convencional. En la tabla Tabla 12. Resultados de Mezcla 2 se resumen los resultados de la sustitución de bitumen por polímero A.

Tabla 21. Resultados de Mezcla 2

ITEM	CONTROL	3%	6%	9%	12%	15%
D. BULK	2.326 $\frac{g}{cm^3}$	2.282 $\frac{g}{cm^3}$	2.271 $\frac{g}{cm^3}$	2.250 $\frac{g}{cm^3}$	2.228 $\frac{g}{cm^3}$	2.249 $\frac{g}{cm^3}$
% VA	4.41	6.59	6.70	7.92	7.57	8.09
% VFA	71.29	59.48	58.37	52.90	52.38	48.26
% VMA	15.37	16.97	17.46	18.12	18.28	18.37
Estabilidad	3454.0 lb	3376.4 lb	3033.5 lb	2655.4 lb	2898.9 lb	2855.9 lb
Flujo	0.09"	0.11"	0.13"	0.16"	0.14"	0.15"

Fuente: Propia

- 2) Se considera que el Polímero B (80% etiqueta y 20% PET) no es apto para la mezcla asfáltica ya que sus propiedades térmicas son bajas, libera gases potencialmente tóxicos, y el polímero se aglomera antes de poder ser introducido a la mezcla.
- 3) Se encontró una leve mejora en la adición de polímero A la mezcla con 0.5% de PET y esta cumple con los parámetros de una mezcla asfáltica para tráfico pesado a excepción del flujo. Se encontró una leve mejora en la adición de polímero A la mezcla con 0.5% de PET y esta cumple con los parámetros de una mezcla asfáltica para tráfico pesado.
- 4) Al realizar un análisis económico entre la mezcla de control y los dos mezclas con adición de polímero A pudimos encontrar dos resultados:
- La mezcla con adición de 0.5% resulto ser un 2.82% más cara que la mezcla de control.
 - La mezcla con adición de 2% resulto ser un 7.12% más barata que la mezcla de control.

CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda recrear el diseño inicial de 3% con la misma granulometría ya que la mezcla presento una mejora en sus propiedades mecánicas. De obtener los mismos resultados experimentar si controlando los vacíos de la mezcla agregando más bitumen permanecen estas propiedades mecánicas. También se recomienda verificar si el alto porcentaje de vacíos de la mezcla de control resulta en las partículas de PET llenándolas y esta es la razón por la que mejoran sus propiedades.
- 2) Realizar un estudio del proceso industrial de mezcla asfáltica para buscar una solución para adicionar el PET u otros materiales reciclados que resulten positivos directo en la planta de asfalto. De esta manera no solo tendríamos resultados de laboratorio, sino sería posible la implementación de estos materiales para grandes producciones.
- 3) Realizar la investigación con el método de diseño Superpave.
- 4) Realizar una investigación con polímero B para mezclas en fríos ya que se trabaja a temperatura ambiente y/o probar la investigación con el polímero de etiqueta sin las partículas de PET.
- 5) Las pruebas realizadas en esta investigación se rigieron por parámetros para diseño de mezcla asfáltica para tráfico pesado. Se recomienda realizar las pruebas para un diseño de mezcla asfáltica para un tráfico mediano, ligero, ciclovías al igual que para mezclas permeables.

CAPÍTULO VIII: APLICABILIDAD

En base al estudio de los resultados se logró concluir que una mezcla asfáltica usando polímero como sustituto parcial del bitumen, sale de los parámetros aceptables para una carretera que será sometida a tráfico pesado. Sin embargo, esto no quiere decir que la mezcla no pueda usarse con otro propósito.

Se puede observar en los resultados que todas las mezclas obtuvieron una estabilidad a 2600 lb, siendo 2810 lb el criterio aceptable. Se puede observar que no es mucha la diferencia entre estos valores, en base a estos se ha recomendado realizar el estudio para tráfico mediano y liviano. De tal manera la mezcla realizada con sustitución podría ser aplicada en las siguientes áreas:

1. Zonas Residenciales
2. Carreteras Secundarias
3. Carreteras Vecinales
4. Pasajes en zonas rurales
5. Ciclovías
6. Parqueos comerciales
7. Parques

El hecho que se utilicen polímeros reciclados como uno de los principales componentes de la mezcla es muy llamativo al comprador debido a que este estará contribuyendo con el medio ambiente y la consciencia social. Esto abre oportunidad para que la mezcla pueda ser utilizado en caminos con finalidades estéticas.

CAPÍTULO IX: BIBLIOGRAFÍA

BBC Mundo. (2017, julio 20). "Hay tantos residuos de plástico en el mundo que podrían cubrir un país como Argentina": la advertencia de un grupo científicos sobre la contaminación que acecha al nuestro planeta. *BBC News Mundo*. Recuperado de <https://www.bbc.co.uk/mundo/noticias-40664725>

ChartsBin. (s/f). Roads Paved (% of Total Roads) by Country. Recuperado el 27 de agosto de 2018, de <http://chartsbin.com/view/37627>

García, S. (2009). HISTORIA DE LOS PLÁSTICOS, 10.

t209.pdf. (s/f). Recuperado de <http://www.dot.nd.gov/manuals/materials/testingmanual/t209.pdf>

t245.pdf. (s/f). Recuperado de <http://www.dot.nd.gov/manuals/materials/testingmanual/t245.pdf>

Taylor, S. (2015). AASHTO T 166 - Bulk Specific Gravity of compacted Asphalt Mixtures Using Saturated Surface-Dry Specimens, 3.

The World Factbook — Central Intelligence Agency. (s/f). Recuperado el 23 de agosto de 2018, de <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2085.html>

Transporte: Panorama general. (s/f). [Text/HTML]. Recuperado el 26 de agosto de 2018, de <http://www.bancomundial.org/es/topic/transport/overview>

World Asphalt Industry Study with Forecasts for 2015 & 2020. (s/f). Recuperado de <https://www.freedoniagroup.com/brochure/28xx/2847smwe.pdf>

American Association of State Highways and Transportation Officials. (2008). AASHTO T-166. En *Bulk Especific Gravity of Compacted Asphalt Mixtures Using Saturated Surface-Dry Specimens*.

Arias, M. (9 de Julio de 2018). *Yahoo*. Obtenido de <https://es.noticias.yahoo.com/en-india-un-profesor-ha-asfaltado-10-000-kilometros-de-carretera-con-plastico-reciclado-114916378.html>

Asphalt Institute. (1982). *Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente*.

BID. (2018). *BID*. Obtenido de <https://www.iadb.org/en/countries/honduras/overview>

BID, B. I. (29 de agosto de 2018). *BID*. Obtenido de El BID apoya a empresa de reciclaje en Honduras con inversiones en energía renovable: <https://www.iadb.org/es/noticias/comunicados-de-prensa/2015-09-08/empresa-de-reciclaje-en-honduras%2C11232.html>

Brunner, F. (2018). *Universidad de Costa Rica*. Obtenido de <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2018/07/10/el-lanammeucr-elabora-asfalto-con-sostenibilidad-ambiental.html>

Cañas, J. (2009). *ANÁLISIS DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS POR TAMIZADO*.

Cedron, J. C., Landa, V., & Robles, J. (2011). *Química General. Material de enseñanza*. . Obtenido de Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.: <http://corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/contenido/82-polimeros.html>

Construmatica. (2017). *Construpedia*. Obtenido de Construmatica:
<https://www.construmatica.com/index.php/>

Coronado Iturbide, J. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. Guatemala.

del Val Melús, M. Á. (1985). *Estudio de laboratorio para la caracterización como material de firmes de carreteras de los plásticos procedentes del tratamiento de residuos sólidos urbanos*. Madrid.

Escamilla, M. (2014). *Aplicación Básica de los Métodos Científicos*.

Furigua & Pedraza, J. (2014). *DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS MEDIANTE LA ADICIÓN DE POLIMEROS*. Bogota.

Hernandez Mendoza, A., & Cuellar Roa, H. (2006). *Materiales Asfálticos*. Ciudad de Mexico: Universidad Nacional Autónoma de Mexico.

Hernández Sampieri, R. (2010). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hil.

Horno3. (Marzo de 2011). *Divulgación de la Ciencia: Horno3*. Obtenido de Horno3 :
http://horno3.ensi.com.mx/apps/newsletter/idem.php?module=Newsletter&action=ReadNewsletter&newsletter_id=4359

Leiva, P., Loria, L., Castro, J., & Aguilar, J. (s.f.). *SIMULACIÓN DEL ENSAYO MARSHALL MEDIANTE LA*

(s.f.). *Manual de Laboratorio de Asfaltos*.

Ministerio de Transportes Y Comunicaciones de Peru. (2008). *Glosario de Terminos de Uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura Vial*. Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles de Peru.

Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingenieria de Pavimentos para Carreteras*. Bogota: Agora Editores.

Oxford University Press. (2018). *Spanish Oxford Living Dictionaries*. Obtenido de Oxford Dictionaries: <https://es.oxforddictionaries.com/>

Pelliccia, M. (5 de Junio de 2018). The Island Paradise Where the Roads Are Made of Plastic. *News Deeply*.

PIARC. (1983). *TECHNICAL COMMITTEE REPORT SIDNEY 1983*. Sidney.

Pineda, M. (2008). *Ensayo a los Asfaltos: Prueba Marshall*. San Pedro Sula: UNITEC.

PRENSA, L. (septiembre de 2017). *Recicladora fabricará material para empresas embotelladoras*. Obtenido de <http://www.laprensa.hn/honduras/1104373-410/recicladora-fabricara-material-empresas-embotelladoras>

PRENSA, L. (enero de 2018). *Reciclaje para biomasa, salida ante el cierre del mercado chino*. Obtenido de <http://www.laprensa.hn/honduras/1146787-410/reciclaje-biomasa-salida-cierre-mercado-chino-plastico>

Raudales, E. (2005). *Manual de Laboratorio Vias de Comunicacion*. UNITEC.

Reyes Galeas, E. Y. (2 de Septiembre de 2018). La isla paradisíaca con las calles hechas de plástico. (M. Pelliccia, Entrevistador)

StarMedia. (2015). *StarMedia*. Obtenido de <https://www.starmedia.com/autos/holandesa-volkerwessels-propone-carreteras-plastico-reciclado/>

Uguña, A. (2016). *SlideShare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/ugusev/mtodo-marshall-para-diseo-de-mezclas-asflticas>

CAPÍTULO X: ANEXOS

Anexo A. Combinación Granulométrica De Mezcla 1	73
Anexo B. Pesos Proporcionales Acumulados Para Mezcla 1	74
Anexo C. Pesos Proporcionales Acumulados Para Mezcla 2	75
Anexo D. Pesos Proporcionales Acumulados Para Mezcla 3.....	76
Anexo E. Revisión De Granulometría De Mezcla 1	77
Anexo F. Revisión De Granulometría De Mezcla 2	78
Anexo G. Revisión Granulometría Por Ignición De Mezcla 2.....	79
Anexo H. Tabla De Datos Obtenidos De Briquetas.....	80
Anexo I. Tabla De Datos Obtenidos De Ensayos De Densidad Teórica.....	81
Anexo J. Resultados De Control De Mezcla 1	82
Anexo K. Resultados 3% De Sustitución En Mezcla 1	83
Anexo L. Gráficas De Resultados De Mezcla 1	84
Anexo M. Resultados De Control De Mezcla 2.....	85
Anexo N. Resultados Con 3% De Sustitución En Mezcla 2	86
Anexo O. Resultados Con 6% De Sustitución En Mezcla 2	87
Anexo P. Resultados Con 9% De Sustitución En Mezcla 2	88
Anexo Q. Resultados Con 12% De Sustitución En Mezcla 2.....	89
Anexo R. Resultados Con 15% De Sustitución En Mezcla 2.....	90
Anexo S. Gráficas Resultados De Mezcla 2.....	91
Anexo T. Resultados Con 9% Del Bitumen Como De Adición en Mezcla 3.....	92
Anexo U. Resultados Con 2% Del Total Como Adición en Mezcla 3.....	93

Anexo V. Gráficas De Resultados De Mezcla 3	94
Anexo W. Gráficas Diseño Elaborado Por PRODECON.....	95
Anexo X. Pesos Específicos De Agregados.....	96
Anexo Y. Especificaciones De Bitumen AC-30.....	97
Anexo Z. Gravedad Especifica PET	99
Anexo AA. Norma AASHTO ND T 166	100
Anexo BB. Norma AASHTO ND T 245	103
Anexo CC. Norma ASTM D 2041	107

GRANULOMETRIAS, EQUIVALENTE DE ARENA Y CARAS FRACTURADAS DE LOS AGREGADOS PARA LA MEZCLA ASFALTICA DURANTE LA TRITURACION

Proyecto: **Varios**

Fecha:

AGREGADO			
TAMIZ	Peso Retenido	% Retenido	% Pasado
1 1/2"			100.0
1"			
3/4"	0.0	0.0	100.0
1/2"	1255.8	56.2	43.8
3/8"	2107.3	94.3	5.7
No. 20	2211.6	99.0	1.0
No. 30	2214.8	99.1	0.9
No. 40			
No. 50	2216.3	99.2	0.8
No. 60	2216.8	99.2	0.8
No. 75	2217.3	99.3	0.7
No. 90	2218.5	99.3	0.7
Fondo	15.3	0.7	
Totales	2233.8	100.0	

AGREGADO			
TAMIZ	Peso Retenido	% Retenido	% Pasado
1 1/2"			
1"			
3/4"			100.0
1/2"	0.0	0.0	100.0
3/8"	56.9	3.3	96.7
No. 20	1543.8	90.4	9.6
No. 30	1662.2	97.3	2.7
No. 40			
No. 50	1674.7	98.1	1.9
No. 60	1676.6	98.2	1.8
No. 75	1678.8	98.3	1.7
No. 90	1681.5	98.5	1.5
Fondo	26.1	1.5	
Totales	1707.6	100.0	

AGREGADO			
TAMIZ	Peso Retenido	% Retenido	% Pasado
1 1/2"			
1"			
3/4"			
1/2"			100.0
3/8"	0.0	0.0	100.0
No. 20	65	3.9	96.1
No. 30	544.7	32.9	67.1
No. 40			
No. 50	1147	69.3	30.7
No. 60	1308.6	79.1	20.9
No. 75	1414.8	85.5	14.5
No. 90	1485.2	89.8	10.2
Fondo	169.6	10.2	
Totales	1654.8	100.0	

AGREGADO			
TAMIZ	Peso Retenido	% Retenido	% Pasado
1 1/2"			
1"			
3/4"			
1/2"			
3/8"			
No. 20			
No. 30			
No. 40			
No. 50			
No. 60			
No. 75			
Fondo			
Totales			

LLENANTE MINERAL			
TAMIZ	Peso Retenido	% Retenido	% Pasado
1 1/2"			
1"			
3/4"			
1/2"			
3/8"			
No. 20			
No. 30			
No. 40			
No. 50			
No. 60			
No. 75			
Fondo			
Totales			

LLENANTE MINERAL			
TAMIZ	Peso Retenido	% Retenido	% Pasado
1 1/2"			
1"			
3/4"			
1/2"			
3/8"			
No. 20			
No. 30			
No. 40			
No. 50			
No. 60			
No. 75			
Fondo			
Totales			

LLENANTE MINERAL			
TAMIZ	Peso Retenido	% Retenido	% Pasado
1 1/2"			
1"			
3/4"			
1/2"			
3/8"			
No. 20			
No. 30			
No. 40			
No. 50			
No. 60			
No. 75			
Fondo			
Totales			

LLENANTE MINERAL			
TAMIZ	Peso Retenido	% Retenido	% Pasado
1 1/2"			
1"			
3/4"			
1/2"			
3/8"			
No. 20			
No. 30			
No. 40			
No. 50			
No. 60			
No. 75			
Fondo			
Totales			

GRANULOMETRIA COMBINADA (AASHOT 76)

MATERIAL	PORCENTAJE USAR		TAMICES						Observaciones:	
	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No. 20	No. 30	No. 40	No. 50		No. 60
AGREGADO 1/4"	15.0	15.0	15.0	6.6	0.8	0.1	0.1	0.11	0.11	0.10
AGREGADO 3/8"	30.0	30.0	30.0	30.0	29.0	2.9	0.8	0.54	0.51	0.46
AGREGADO 1/2"	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	52.8	36.9	16.88	16.88	5.64
AGREGADO 3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
LLENANTE MINERAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
TOTALES	100.0	100.0	100.0	91.6	84.8	55.9	37.8	17.6	17.6	8.6

DETALLE DE CARAS FRACTURAS (ASTM D 6821)

CARACTERISTICAS	PESO	PORCENTAJE
CARAS FRACTURADAS	0	0%
CARAS REDONDAS	0	0%
TOTALES	0	100%

ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA (AASHOT 76)

LECTURAS DE SEDIMENTO	LECTURAS DE SUSPENSION	EQUIVALENTE DE ARENA	PROMEDIO
1	0	0%	0%
2	0	0%	0%
3	0	0%	0%

Elaboró: **Roy Hernandez**

Aprobó: **Roy Hernandez**

Anexo B. Pesos Proporcionales Acumulados Para Mezcla 1



DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA, PESOS PROPORCIONALES ACUMULADOS DE AGREGADOS PARA DIFERENTES CONTENIDOS DE ASFALTO

PORCENTAJE DE SUSTITUCION DEL ASFALTO		3%	6%	9%	12%	15%		
ASFALTO	62.3	60.4	58.6	56.7	54.8	53.0		
PET		1.81	3.74	5.61	7.48	9.35		
PESO AGREGADO		1050.0	1050.0	1050.0	1050.0	1050.0		
PESO TOTAL MEZCLA		1112.2	1112.3	1112.3	1104.8	1103.0		
TAMIZ	PESO AGREGADO ACUMULADO	PESO AGREGADO ACUMULADO	PESO AGREGADO ACUMULADO	PESO AGREGADO ACUMULADO	PESO AGREGADO ACUMULADO	PESO AGREGADO ACUMULADO		FORMULA DE TRABAJO RET.ACUM,%
1 1/2"								
1"								
3/4"								
1/2"		88.2	88.2	88.2	88.2	88.2		8.4
3/8"		159.6	159.6	159.6	159.6	159.6		15.2
No. 4		463.1	463.1	463.1	463.1	463.1		44.1
No. 8		653.1	653.1	653.1	653.1	653.1		62.2
No. 10								
No. 16								
No. 30								
No. 40								
No. 50								
No. 80								
No. 100								
No. 200								
Fondo		396.9	396.9	396.9	396.9	396.9		37.8
PESO TOTAL DE AGREGADOS		1050.0	1050.0	1050.0	1050.0	1050.0		100.0
OBSERVACIONES : _____								
<u>9/7/18</u> FECHA		<u>Ing. Roy Hernández</u> JEFE DE LABORATORIO						

Anexo C. Pesos Proporcionales Acumulados Para Mezcla 2



DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA, PESOS PROPORCIONALES ACUMULADOS DE AGREGADOS PARA DIFERENTES CONTENIDOS DE ASFALTO

PORCENTAJE DE SUSTITUCION DEL ASFALTO		3%	6%	9%	12%	15%		
ASFALTO		60.4	58.6	56.7	54.8	53.0		
PET		1.87	3.74	5.61	7.48	9.35		
PESO AGREGADO		1050.0	1050.0	1050.0	1050.0	1050.0		
PESO TOTAL MEZCLA		1112.3	1112.3	1112.3	1112.3	1112.3		
TAMIZ	PESO AGREGADO ACUMULADO	PESO AGREGADO ACUMULADO	PESO AGREGADO ACUMULADO	PESO AGREGADO ACUMULADO	PESO AGREGADO ACUMULADO	PESO AGREGADO ACUMULADO	PESO AGREGADO ACUMULADO	FORMULA DE TRABAJO RET,ACUM,%
1 1/2"								
1"								
3/4"								
1/2"		85.0	85.0	85.0	85.0	85.0		8.1
3/8"		153.3	153.3	153.3	153.3	153.3		14.6
No. 4		484.1	484.1	484.1	484.1	484.1		46.1
No. 8		709.8	709.8	709.8	709.8	709.8		67.6
No. 10								
No. 16								
No. 30		903.0	903.0	903.0	903.0	903.0		86.0
No. 40								
No. 50		948.2	948.2	948.2	948.2	948.2		90.3
No. 80								
No. 100		978.6	978.6	978.6	978.6	978.6		93.2
No. 200		997.5	997.5	997.5	997.5	997.5		95.0
Fondo		52.5	52.5	52.5	52.5	52.5		5.0
PESO TOTAL DE AGREGADOS		1050.0	1050.0	1050.0	1050.0	1050.0		100.0
OBSERVACIONES : _____								
<u>9/7/18</u> FECHA		<u>Ing. Roy Hernández</u> JEFE DE LABORATORIO						

Anexo D. Pesos Proporcionales Acumulados Para Mezcla 3



DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA, PESOS PROPORCIONALES ACUMULADOS DE AGREGADOS PARA DIFERENTES CONTENIDOS DE ASFALTO

PORCENTAJE DE SUSTITUCION DEL ASFALTO		0.52%	2%					
ASFALTO		64.4	65.5					
PET		5.83	22.76					
PESO AGREGADO		1050.0	1050.0					
PESO TOTAL MEZCLA		1120.2	1138.2					
TAMIZ	PESO AGREGADO ACUMULADO	PESO AGREGADO ACUMULADO	PESO AGREGADO ACUMULADO	PESO AGREGADO ACUMULADO	PESO AGREGADO ACUMULADO	PESO AGREGADO ACUMULADO	PESO AGREGADO ACUMULADO	FORMULA DE TRABAJO RET.ACUM,%
1 1/2"								
1"								
3/4"								
1/2"		85.0	85.0					8.1
3/8"		153.3	153.3					14.6
No. 4		484.1	484.1					46.1
No. 8		709.8	709.8					67.6
No. 10								
No. 16								
No. 30		903.0	903.0					86.0
No. 40								
No. 50		948.2	948.2					90.3
No. 80								
No. 100		978.6	978.6					93.2
No. 200		997.5	997.5					95.0
Fondo		52.5	52.5					5.0
PESO TOTAL DE AGREGADOS		1050.0	1050.0					100.0
<p>OBSERVACIONES : _____</p> <p style="text-align: center;">_____</p> <p style="text-align: center;">Ing. Roy Hernández</p> <p style="text-align: center;">JEFE DE LABORATORIO</p> <p style="text-align: center;">_____</p> <p style="text-align: center;">FECHA</p>								

Anexo E. Revisión De Granulometría De Mezcla 1



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO, GRÁFICO Y DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE ASFALTO DE LA MEZCLA

Proyecto: _____ Fecha: 6/12/18
 Origen de la muestra: Planta PA - 01 Plantel Olímpico Laboratorio: _____

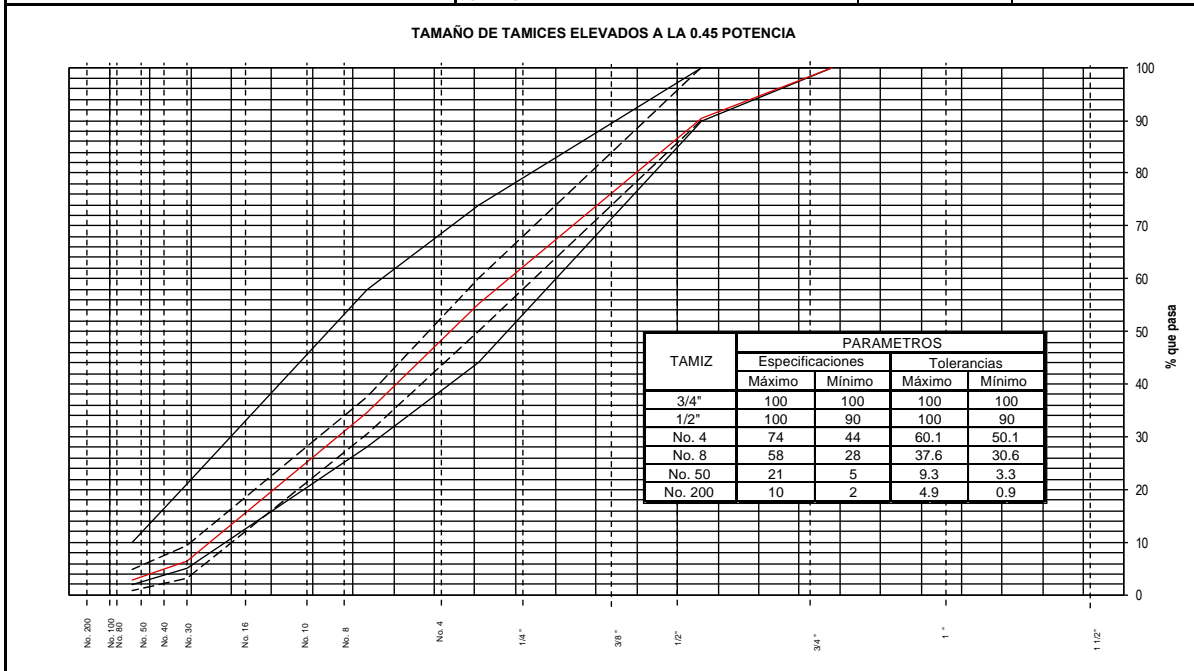
DETERMINACION PERDIDA POR LAVADO (AASHTO T11)

Procedimiento Lavado Seco
 Peso Seco sin Lavar 1043.2
 Peso Seco Lavado 1017.3
 Perdida por Lavado 25.9

DET. DE LA HUMEDAD DE LA MUESTRA (AASHTO T 265)

Balanza Utilizada: EM-BZ-02
 Lata No. _____
 Lata + Suelo Húmedo _____
 Lata + Suelo Seco _____
 Peso del Agua _____
 Peso de Lata Vacía _____
 Peso de Suelo Seco _____
 % de Humedad _____
 Factor de Corrección Higroscópica _____

DETERMINACION DE GRANULOMETRIA (AASHTO T 30)				DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE ASFALTO EN LA MEZCLA POR EL METODO DE CENTRIFUGADO (AASHTO T164)		DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE ASFALTO EN LA MEZCLA POR EL METODO DE IGNICION (ASTM D6307-10)	
TAMIZ	P. RETENIDO	% RETENIDO	% PASADO				
1 1/2"				Peso de mezcla antes		Peso Inicial	1498.00
1"				Peso de mezcla después		Peso Perdido	97.70
3/4"			100	Peso de mezcla + incrementos		Peso Despues de Ignicion	1400.30
1/2"	101.4	9.7	90.3	Peso de asfalto contenido		% de Perdida	6.52
3/8"	163.0	15.6	84.4	Porcentaje de asfalto en la mezcla		% Compensacion por Temp.	0.20
No. 4	468.4	44.9	55.1	Peso del filtro después		% Factor de Calibracion	0.72
No. 8	682.5	65.4	34.6	Peso del filtro antes		% de Relacion de Asfalto	6.06
No. 16				Peso incremento		% de Asfalto	5.60
No. 30	850.0	81.5	18.5	Cenizas			
No. 50	977.2	93.7	6.3	DET. DE CARAS FRACTURADAS (ASTM D 5821)			
No. 100	1000.0	95.9	4.1	CARACTERISTICAS		PESO	PORCENTAJE
No. 200	1013.1	97.1	2.9	CARAS FRACTURADAS			
Fondo	30.1	2.9		CARAS REDONDAS			
Totales	1043.2	100.0		TOTALES			



Elaboró: Mauricio Palma

Aprobó: Santos Cartagena

Anexo F. Revisión De Granulometría De Mezcla 2



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO, GRÁFICO Y DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE ASFALTO DE LA MEZCLA

Proyecto: _____ Fecha: 8/29/18
 Origen de la muestra: Planta PA - 01 Planteo Olímpico Laboratorio: _____

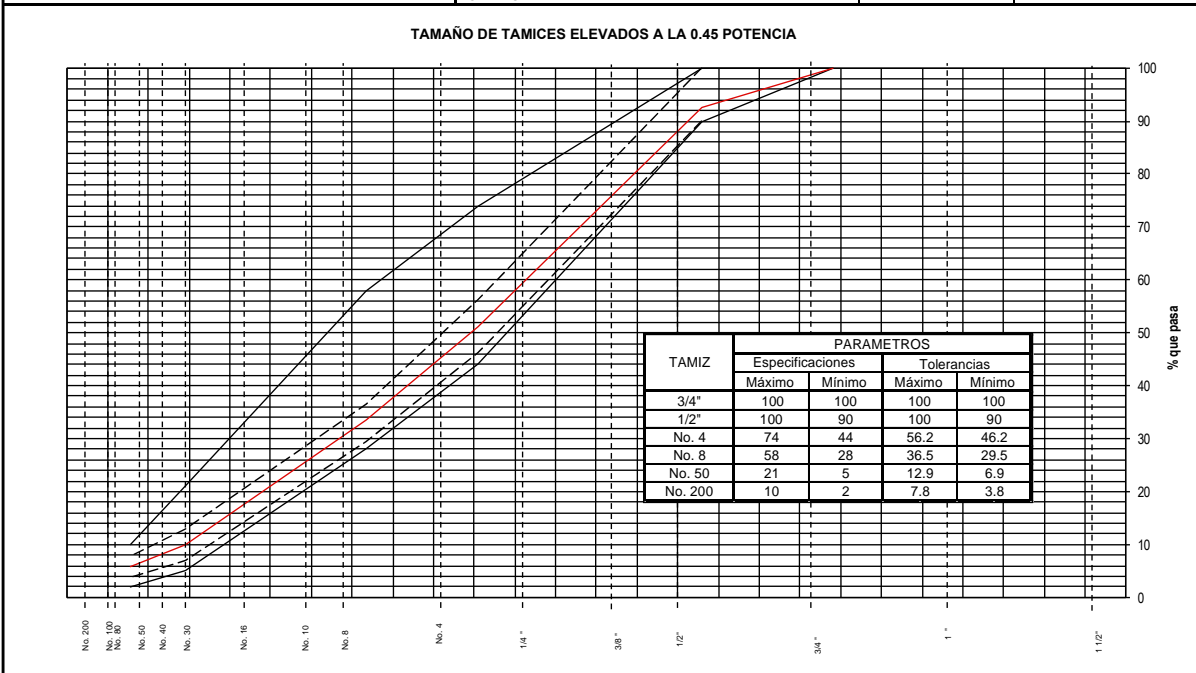
DETERMINACION PERDIDA POR LAVADO (AASHTO T11)

Procedimiento Lavado Seco
 Peso Seco sin Lavar 1045.9
 Peso Seco Lavado 988.6
 Perdida por Lavado 57.3

DET. DE LA HUMEDAD DE LA MUESTRA (AASHTO T 265)

Lata No. _____
 Lata + Suelo Húmedo _____
 Lata + Suelo Seco _____
 Peso del Agua _____
 Peso de Lata Vacía _____
 Peso de Suelo Seco _____
 % de Humedad _____
 Factor de Corrección Higroscópica _____

DETERMINACION DE GRANULOMETRIA (AASHTO T 30)				DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE ASFALTO EN LA MEZCLA POR EL METODO DE CENTRIFUGADO (AASHTO T164)		DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE ASFALTO EN LA MEZCLA POR EL METODO DE IGNICION (ASTM D6307-10)	
TAMIZ	P. RETENIDO	% RETENIDO	% PASADO				
1 1/2"				Peso de mezcla antes		Peso Inicial	
1"				Peso de mezcla después		Peso Perdido	
3/4"			100	Peso de mezcla + incrementos		Peso Despues de Ignicion	
1/2"	77.0	7.4	92.6	Peso de asfalto contenido		% de Perdida	
3/8"	150.5	14.4	85.6	Porcentaje de asfalto en la mezcla		% Compensacion por Temp.	
No. 4	510.0	48.8	51.2	Peso del filtro después		% Factor de Calibracion	
No. 8	695.4	66.5	33.5	Peso del filtro antes		% de Relacion de Asfalto	
No. 16				Peso incremento		% de Asfalto	
No. 30	898.3	85.9	14.1	Cenizas			
No. 50	942.6	90.1	9.9	DET. DE CARAS FRACTURADAS (ASTM D 5821)			
No. 100	966.6	92.4	7.6	CARACTERISTICAS		PESO	PORCENTAJE
No. 200	985.0	94.2	5.8	CARAS FRACTURADAS			
Fondo	60.9	5.8		CARAS REDONDAS			
Totales	1045.9	100.0		TOTALES			



Elaboró: Mauricio Palma

Aprobó: Ing. Roy Hernández (cc: Santos Cartagena)

Anexo G. Revisión Granulometría Por Ignición De Mezcla 2



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO, GRÁFICO Y DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE ASFALTO DE LA MEZCLA

Proyecto: _____ Fecha: 6/12/18

Origen de la muestra: Planta PA - 01 Plantel Olimpico

Laboratorio: _____

Balanza Utilizada: EM-BZ-02

DETERMINACION PERDIDA POR LAVADO (AASHTO T11)

DET. DE LA HUMEDAD DE LA MUESTRA (AASHTO T 265)

Procedimiento Lavado Seco

Peso Seco sin Lavar 1017.2

Peso Seco Lavado 977.4

Perdida por Lavado 39.8

Lata No. _____

Lata + Suelo Húmedo _____

Lata + Suelo Seco _____

Peso del Agua _____

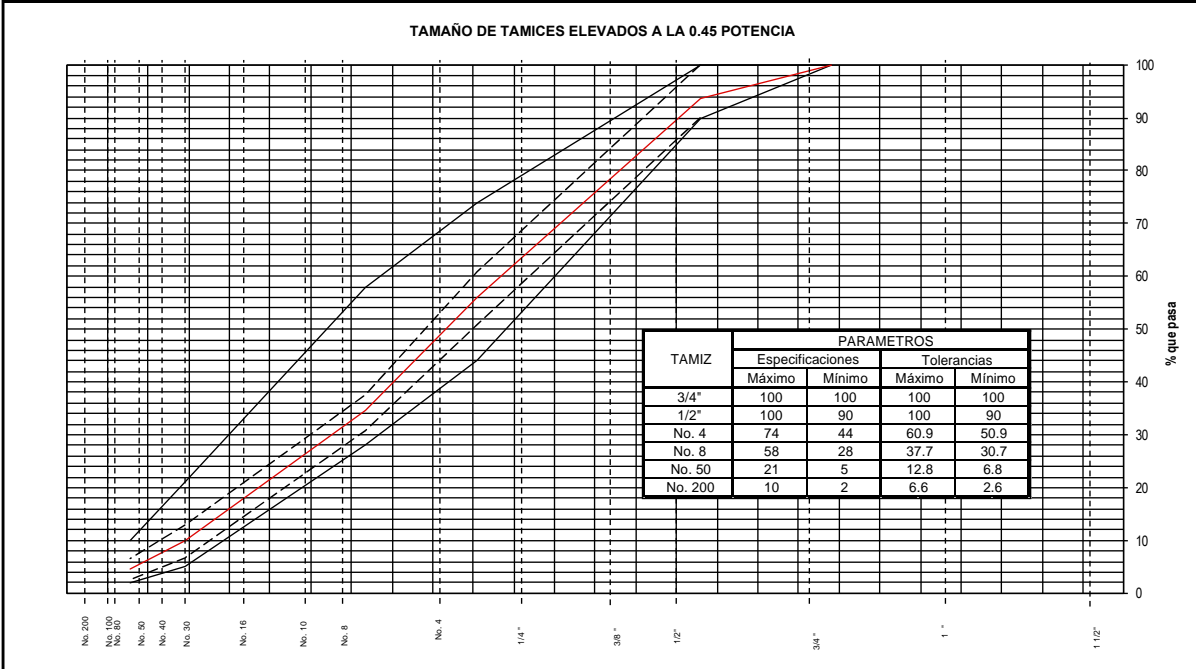
Peso de Lata Vacía _____

Peso de Suelo Seco _____

% de Humedad _____

Factor de Corrección Higroscópica _____

DETERMINACION DE GRANULOMETRIA (AASHTO T 30)				DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE ASFALTO EN LA MEZCLA POR EL METODO DE CENTRIFUGADO (AASHTO T164)		DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE ASFALTO EN LA MEZCLA POR EL METODO DE IGNICION (ASTM D6307-10)	
TAMIZ	P. RETENIDO	% RETENIDO	% PASADO				
1 1/2"				Peso de mezcla antes		Peso Inicial	1498.00
1"				Peso de mezcla después		Peso Perdido	97.70
3/4"			100	Peso de mezcla + incrementos		Peso Despues de Ignicion	1400.30
1/2"	64.4	6.3	93.7	Peso de asfalto contenido		% de Perdida	6.52
3/8"	132.5	13.0	87.0	Porcentaje de asfalto en la mezcla		% Compensacion por Temp.	0.20
No. 4	448.1	44.1	55.9	Peso del filtro después		% Factor de Calibracion	0.72
No. 8	664.0	65.3	34.7	Peso del filtro antes		% de Relacion de Asfalto	6.06
No. 16				Peso incremento		% de Asfalto	5.60
No. 30	864.2	85.0	15.0	Cenizas			
No. 50	917.1	90.2	9.8	DET. DE CARAS FRACTURADAS (ASTM D 5821)			
No. 100	949.9	93.4	6.6	CARACTERISTICAS		PESO	PORCENTAJE
No. 200	970.4	95.4	4.6	CARAS FRACTURADAS			
Fondo	46.8	4.6		CARAS REDONDAS			
Totales	1017.2	100.0		TOTALES			



Elaboró: Mauricio Palma

Aprobó: Santos Cartagena

Anexo H. Tabla De Datos Obtenidos De Briquetas

BRIQUETA	PESO SECO	SSD	PSS	ESTABILIDAD	FLUJO
1C0001	1089.2 g	1095.6 g	615.6 g	300	11
1C0002	1101.5 g	1106.3 g	626.4 g	390	11
1C0003	1086.5 g	1092.2 g	615.3 g	310	11
1A0301	1088.5 g	1094.8 g	609.8 g	420	11
1A0302	1093.2 g	1098.0 g	617.1 g	395	11
1A0303	1094.3 g	1098.3 g	620.6 g	400	11
2C0001	1099.2 g	1100.9 g	630.0 g	320	9
2C0002	1100.3 g	1103.2 g	622.4 g	398	9
2C0003	1095.1 g	1097.9 g	625.4 g	328	9
2A0301	1102.9 g	1106.4 g	625.3 g	310	11
2A0302	1099.6 g	1104.8 g	620.6 g	320	11
2A0303	1104.7 g	1109.1 g	625.1 g	320	11
2A0601	1102.5 g	1105.8 g	618.5 g	280	13
2A0602	1096.7 g	1100.1 g	615.5 g	295	12
2A0603	1100.0 g	1104.3 g	621.8 g	280	13
2A0901	1102.9 g	1113.3 g	619.3 g	250	17
2A0902	1102.6 g	1110.3 g	621.1 g	246	16
2A0903	1102.8 g	1109.8 g	619.0 g	259	15
2A1201	1100.7 g	1111.2 g	618.6 g	---	---
2A1202	1084.7 g	1094.2 g	606.0 g	---	---
2A1203	1051.6 g	1060.2 g	587.9 g	---	---
2A1204	1095.9 g	1109.0 g	619.3 g	266	16
2A1205	1101.7 g	1112.3 g	620.8 g	279	14
2A1206	1104.7 g	1111.8 g	622.7 g	267	13
2A1501	1104.8 g	1114.4 g	621.4 g	270	16
2A1502	1098.9 g	1107.4 g	618.8 g	285	14
2A1503	1105.2 g	1115.4 g	622.1 g	257	17
3A0201	1114.4 g	1125.1 g	617.4 g	260	16
3A0202	1107.8 g	1119.1 g	611.6 g	240	14
3A0203	1113.3 g	1122.9 g	611.8 g	279	17
3A0901	1101.8 g	1105.1 g	622.0 g	270	16
3A0902	1102.5 g	1106.5 g	619.1 g	280	14
3A0903	1081.2 g	1083.7 g	613.6 g	310	17

Anexo I. Tabla De Datos Obtenidos De Ensayos De Densidad Teórica

MUESTRA	PESO INICIAL	PESO SATURADO	PESO TARA	SSD
1C00T1	2000	3189.4	2005.3	2003.5
1A03T1	2000	3192.0	2005.3	2006.7
1A03T2	2000	3189.5	2005.3	2006.7
2C00T1	2000	3189.4	2005.3	2003.5
2C00T2	2000	3189.3	2005.3	2003.5
2A03T1	2000	3189.1	2005.3	2003.6
2A03T2	2000	3196.2	2005.3	2003.6
2A06T1	2000	3191.8	2005.3	2006.6
2A06T2	2000	3191.8	2005.3	2006.6
2A09T1	2000	3193.3	2005.3	2006.6
2A09T2	2000	3187.9	2005.3	2006.6
2A12T1	2000	3194.5	2005.3	2006.6
2A12T2	2000	3195.7	2005.3	2006.6
2A12T3	2000	3191.0	2005.3	2006.7
2A12T4	2000	3191.8	2005.3	2006.7
2A15T1	2000	3194.9	2005.3	2006.6
2A15T2	2000	3195.1	2005.3	2006.6
3A02T1	2000	3175.3	2005.3	2003.9
3A09T1	2000	3184.9	2005.3	2005.6

DISEÑO DE MEZCLAS CALIENTES Y DATOS DE CONTROL METODO MARSHALL

Proyecto: DISEÑO DE CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO CON POLÍMEROS RECICLADOS Fecha: 1/9/18 Hora: 1/9/18

MATERIALES	PESO ESPECÍFICO		Factor del Anillo	TEMP. DE COMPACTACION
	APARENTE	MASIVO		
1 Asfalto A ASHTO T 43	1.029	XXX	9.68	295 ºF
2 Agregado Grueso (- N° 8) A ASHTO T 85	XXX	2.594	% de Sustitución de Asfalto	
3 Agregado Fino (N° 8+N°200) A ASHTO T 84	XXX	2.570	CONTROL	
4 Polvo Mineral (- N° 200) A ASHTO T 100	2.745	XXX		

MEDIDA DEL MÁXIMO PESO ESPECÍFICO DE LA MEZCLA, ASTM D 2041 (Método de Rice)				
5	Peso neto de la mezcla suelta al aire, gr.	2000.0		2000.0
6	Peso de la muestra saturada con superficie seca	2003.5		2003.5
7	Peso neto del frasco lleno con agua sumergido gr.	819.4		819.3
8	Peso neto del frasco y la muestra (vacío y lleno), gr.	3189.4		3189.5

MEDIDA DEL PESO ESPECÍFICO MASIVO DE LA MEZCLA COMPACTADA, AASHTO T 166				
9	Peso de la muestra al aire, gr.	1089.2	1101.5	1086.5
10	Peso de la muestra con Sup. Sat. Seca al aire, gr.	1095.6	1106.3	1092.2
11	Peso de la muestra con Sup. Sat. Seca en el agua, gr.	615.6	626.4	615.3
12	Volumen, (10)-(11)	480.0	479.9	476.9
13	Peso específico promedio masivo del agreg. Total, Ec. A			
14	Medida del máximo peso específico teórico, Ec. B			2.590
15	Peso específico virtual del agregado, Ec. C			2.434
16	Asfalto absorbido (lb/100 lb. de agregado seco), Ec. D			2.648
17	Medida del peso esp. compactado masivo = (9)/(12)	2.269	2.295	2.278

CÁLCULOS (BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA)				
18	Peso del agregado total = (17) x % agreg. en mezcla, gr.			214.638
19	Peso del asfalto total = (17) x % asfalto en mezcla, gr.			12.733
20	Peso del asfalto absorbido = (16) x (18) / 100, gr.			1.862
21	Peso del asfalto efectivo = (19) - (20), gr.			10.871
22	Volumen del agregado total = (18) / (13), cc.			82.864
23	Volumen del asfalto efec = (21) / Peso esp. del asf. cc			10.565

RESULTADOS				
24	Cont. efectivo de asfalto = Aext-(16/100) x (100-A Ext.)			4.78
25	Vacios de agregado mineral = 100 - (22), gr.			17.14
26	Vacios de aire = 100 - (22) - (23), %			6.57
27	Vacios llenados con asfalto = [(25)-(26)] x 100 / (25)			61.65
28	Peso unitario = (17) x 62.4 lb / pie cúbico			141.88
29	Lectura de estabilidad	300	290	310
30	Factor de corrección por volumen de la muestra	1.14	1.14	1.14
31	Estabilidad medida a 140º F. lb.	2904	2807	3001
32	Estabilidad corregida, lb.	3311	3200	3421
33	Escurrimiento (flujo) 0.01 pulgada	0.11	0.11	0.11
34	Relacion Estabilidad Flujo [(32)/ (2.2046)] / (33 x 25.4)			537

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS																
Tamiz	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 30	N° 40	N° 50	N° 80	N° 100	N° 200
% Pase	100.0	100.0	100.0	100.0	90.3	84.4	55.1	34.6	18.5	6.3	1.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1

Relación Polvo / Asfalto = $\frac{Pase\ N^{\circ} 200 / 24}{0.61}$ = 6.57

% de Vacios de Aire = $\frac{100 - (14 - 17) / 14}{100}$ = 6.57 (Método Rice)

DISEÑO DE MEZCLAS CALIENTES Y DATOS DE CONTROL METODO MARSHALL

Proyecto: DISEÑO DE CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO CON POLÍMEROS RECICLADOS Fecha: 14/9/2018

Hora: 14/9/2018

MATERIALES	PESO ESPECÍFICO		% Agregado	Factor del Anillo	TEMP. DE COMPACTACION
	APARENTE	MASIVO			
1. Asfalto A ASHTO T 43	1.029	XXX	94.4	9.68	295 P
2. Agregado Grueso (+N° 8) AASHTO T 85	XXX	2.584	% de Asfalto Extraído	% de Sustitución de Asfalto	
3. Agregado Fino (N° 8-N°200) AASHTO T 84	XXX	2.570	5.43	3	
4. Polvo Mineral (-N° 200) AASHTO T 100	2.745	XXX			

MEDIDA DEL MÁXIMO PESO ESPECÍFICO DE LA MEZCLA, ASTM D 2041 (Método de Rice)					
5. Peso neto de la mezcla suelta al aire, gr.	2000.0			2000.0	
6. Peso de la muestra sumrada con superficie seca	2006.7			2006.7	
7. Peso neto del frasco lleno con agua sumergido gr.	2005.3	820.0		2005.3	822.5
8. Peso neto del frasco y la muestra (vacío y lleno), gr.	3192.0	2.439		3189.5	2.452

MEDIDA DEL PESO ESPECÍFICO MASIVO DE LA MEZCLA COMPACTADA, AASHTO T 166					
9. Peso de la muestra al aire, gr.	1088.5	1093.2	1094.3		
10. Peso de la muestra con Sup. Sst. Seca al aire, gr.	1094.8	1098.0	1098.3		
11. Peso de la muestra con Sup. Sst. Seca en el agua, gr.	609.8	617.1	620.6		
12. Volumen, (10) ³ (11)	485.0	480.9	477.7		
13. Peso específico promedio masivo del agreg. Total, Ec. A					2.590
14. Medida del máximo peso específico teórico, Ec. B					2.428
15. Peso específico virtual del agregado, Ec. C					2.638
16. Asfalto absorbido (lb/100 lb. de agregado seco), Ec. D					0.723
17. Medida del peso esp. compactado masivo = (9)/(12)	2.244	2.273	2.291		2.269

CÁLCULOS (BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA)					
18. Peso del agregado total = (17) x % agreg. en mezcla, gr.					214.236
19. Peso del asfalto total = (17) x % asfalto en mezcla, gr.					12.328
20. Peso del asfalto absorbido = (16) x (18) / 100, gr.					1.550
21. Peso del asfalto efectivo = (19) - (20), gr.					10.778
P1. Peso del polímero = (17) x % polímero en mezcla, gr.					0.381
P2. Volumen del polímero total = (18) / Peso esp. del polímero, cc.					0.287
22. Volumen del agregado total = (18) / (13), cc.					82.708
23. Volumen del asfalto efec = (21) / Peso esp. del asf. cc					10.474


RESULTADOS					
24. Cont. efectivo de asfalto = A ext. - (16/100) x (100-A Ext.)					4.75
25. Vacíos de agregado mineral = 100 - (22), gr.					17.29
26. Vacíos de aire = 100 - (22) - (23), %					6.53
P3. Vacíos llenados con polímero = [(25)-(26)+(23)] x 100 / (25)					1.66
27. Vacíos llenados con asfalto = [(25)-(26)] x 100 / (25)					60.57
27. Peso unitario = (17) x 62.4 lb / pie cúbico					141.61
29. Lectura de estabilidad	420	395	400		
30. Factor de corrección por volumen de la muestra	1.09	1.09	1.09		
31. Estabilidad medida a 140° F. lb.	4066	3824	3872		
32. Estabilidad corregida, lb.	4432	4168	4220		
33. Escurrimiento (fluido), 0.01 pul gada	0.11	0.11	0.11		
34. Reflecion Estabilidad Fluido [(32) / (22046)] / (33 x 25.4)]					681

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS																	
Tamiz	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	N° 4	N° 8	N° 10	N° 16	N° 30	N° 40	N° 50	N° 80	N° 100	N° 200
% Pase		100.0	90.3	84.4	55.1	34.6	18.5	6.3	2.9								

Relación Polvo / Asfalto = $\text{Pase } N^{\circ} 200 / 24 = 0.61$

% de Vacíos de Aire = $[(14 - 17) / 14] \times 100 = 6.53$ (Método Rice)

Anexo L. Gráficas De Resultados De Mezcla 1



PRODECON, S.A. de C.V.
Profesionales de la Construcción, S.A. de C.V.

GRAFICOS DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA

DISEÑO DE CONCRETO ASFALTICO MODIFICADO CON POLIMEROS RECICLADOS

Plantel Olimpico

MEZCLA: Sustitución de asfalto por PET

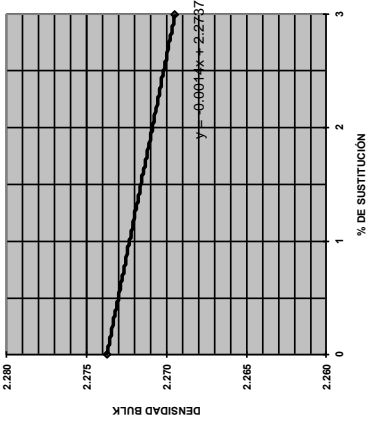
REMITÉ: _____

FECHA: 14/09/2018

PROYECTO: _____

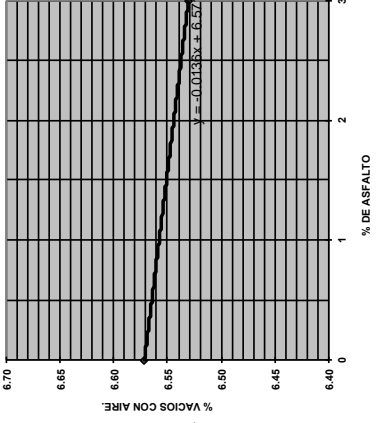
LOCALIZACION: _____

MUESTRA: _____



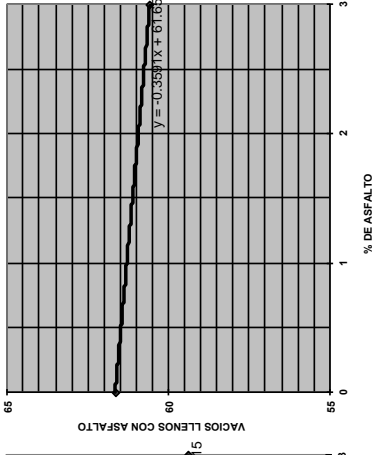
DENSIDAD BULK

$y = 0.0044x + 2.2757$



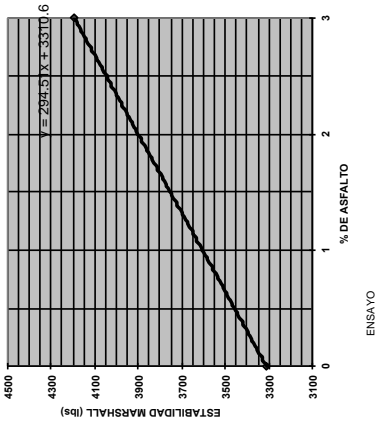
% VACIOS CON AIRE

$y = -0.0133x + 6.5715$



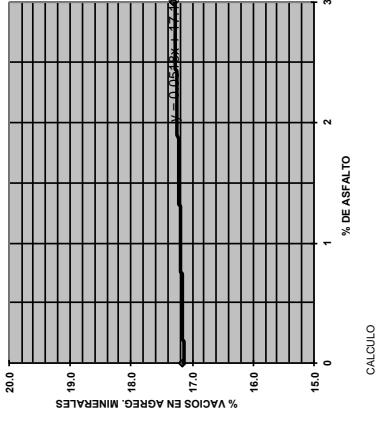
VACIOS LLENOS CON ASFALTO

$y = -0.3531x + 6.11652$



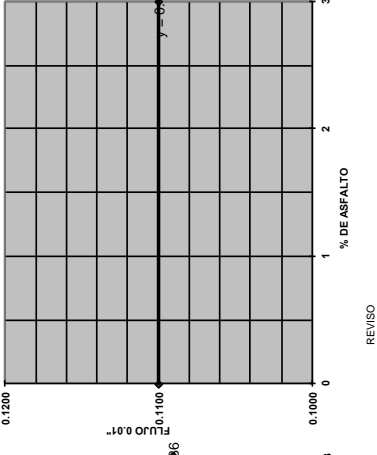
ESTABILIDAD MARSHALL (lbs)

$y = 294.31x + 3310.6$



% VACIOS EN AREG. MINERALES

$y = 0.0539x - 17.296$



FLUJO 0.01"

$y = 0.1$

RO-CT-24

Version 3

Aprobado por: Gerente de Proyectos

Elaboró: Mauricio Palma

Aprobó: Ing. Roy Hernandez (cc:Santos Cartagena)

Aprobado 11-07-06

Página 1 de 2

DISEÑO DE MEZCLAS CALIENTES Y DATOS DE CONTROL METODO MARSHALL

Proyecto: DISEÑO DE CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO CON POLÍMEROS RECICLADOS Fecha: 14/9/2018 Hora: 14/9/2018

MATERIALES	PESO ESPECÍFICO		Factor del Anillo	TEMP. DE COMPACTACION
	APARENTE	MASIVO		
1 Asfalto A ASHTO T 43	1.029	XXX	9.68	295 F
2 Agregado Grueso (+ N° 8) AASHTO T 85	XXX	2.594	% de Sustitución de Asfalto	
3 Agregado Fino (N° 8 + N°200) AASHTO T 84	XXX	2.570	CONTROL	
4 Polvo Mineral (- N° 200) AASHTO T 100	2.745	XXX		
			% Agregado	
			94.4	
			% de Asfalto Extraído	
			5.6	

MEDIDA DEL MÁXIMO PESO ESPECÍFICO DE LA MEZCLA - ASTM D 2041 (Método de Rice)

5 Peso neto de la mezcla suelta al aire, gr.	2000.0	2000.0
6 Peso de la muestra saturada con superficie seca	2003.5	2003.5
7 Peso neto del frasco lleno con agua o sumergido gr.	2005.3	819.4
8 Peso neto del frasco y la muestra (vaciado y lleno), gr.	3189.4	2.441
9 Peso de la muestra al aire, gr.	1099.2	1100.3
10 Peso de la muestra con Sup. Sat. Seca al aire, gr.	1100.9	1103.2
11 Peso de la muestra con Sup. Sat. Seca en el agua, gr.	630.0	622.4
12 Volumen, (10)-(11)	470.9	480.8
13 Peso específico promedio masivo del agreg. Total, Ec. A		472.5
14 Medida del máximo peso específico teórico, Ec B		
15 Peso específico virtual del agregado, Ec. C		
16 Asfalto absorbido (lb/100 lb. de agregado seco), Ec. D		
17 Medida del peso esp. compactado masivo = (9)/(12)	2.334	2.288

MEDIDA DEL PESO ESPECÍFICO MASIVO DE LA MEZCLA COMPACTADA - AASHTO T 166

9	1099.2	1100.3	1095.1
10	1100.9	1103.2	1097.9
11	630.0	622.4	625.4
12	470.9	480.8	472.5
13			2.595
14			2.433
15			2.648
16			0.796
17	2.334	2.288	2.318

CÁLCULOS (BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA)

18	Peso del agregado total = (17) x % agreg. en mezcla, gr.	219.571
19	Peso del asfalto total = (17) x % asfalto en mezcla, gr.	13.025
20	Peso del asfalto absorbido = (16) x (18) / 100, gr.	1.749
21	Peso del asfalto efectivo = (19) - (20), gr.	11.277
22	Volumen del agregado total = (18) / (13), cc.	84.628
23	Volumen del asfalto efec = (21) / Peso esp. del asf. cc	10.959

RESULTADOS

24	Cont. efectivo de asfalto = A _{eff} - (16/100) x (100-A _{Exl})	4.85
25	Vacios de agregado mineral = 100 - (22), gr.	15.37
26	Vacios de aire = 100 - (22) - (23), %	4.41
27	Vacios llenados con asfalto = [(25)-(26)] x 100 / (25)	71.29
28	Peso unitario = (17) x 62.4 lb / pie cúbico	145.14
29	Lectura de estabilidad	328
30	Factor de corrección por volumen de la muestra	1.14
31	Estabilidad medida a 140° F. lb.	3098
32	Estabilidad corregida, lb.	3175
33	Escurrecimiento (flujo), 0.01 pulgada	3620
34	Relación Estabilidad Flujo [(32/ 2.2046) / (33 x 25.4)]	0.09

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS

Tamiz	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	N° 4	N° 8	N° 10	N° 16	N° 30	N° 40	N° 50	N° 80	N° 100	N° 200
% Pase	100.0	91.9	85.4	85.4	53.9	32.4	14.0	9.7	6.8	5.0	4.41	4.41	4.41	4.41	4.41	4.41	4.41

Relación Polvo / Asfalto = Pase N° 200 / 24 = 1.03
 % de Vacíos de Aire = [(14 - 17) / 14] x 100 = 4.41 (Método Rice)

PROYECTO: DISEÑO DE MEZCLAS CALIENTES Y DATOS DE CONTROL METODO MARSHALL

DISEÑO DE CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO CON POLÍMEROS RECICLADOS Fecha: 14/9/2018 Hora: 14:00

MATERIALES		PESO ESPECÍFICO		% Agregado	Factor del Anillo	TEMP. DE COMPACTACION
APARENTE	MASIVO					
1 Asfalto A ASHTO T 43	1.029	XXX		94.4	9.68	295 P
2 Agregado Grueso (+ N° 8) - AASHTO T 85	XXX	2.594		% de Asfalto Extraído	% de Sustitución de Asfalto	
3 Agregado Fino (N° 8 - N° 200) AASHTO T 84	XXX	2.570		5.43	3	
4 Polvo Mineral (- N° 200) AASHTO T 100	2.745	XXX				

MEDIDA DEL MÁXIMO PESO ESPECÍFICO DE LA MEZCLA - ASTM D 2041 (Método de Ríce)	
5 Peso neto de la mezcla suelta al aire, gr.	2000.0
6 Peso de la muestra saturada con superficie seca	2003.6
7 Peso neto del frasco lleno con agua, o sumergido gr.	819.8
8 Peso neto del frasco y la muestra (vacío y lleno), gr.	2.440

MEDIDA DEL PESO ESPECÍFICO MASIVO DE LA MEZCLA COMPACTADA, AASHTO T 166	
9 Peso de la muestra al aire, gr.	1102.9
10 Peso de la muestra con Sup. Sat. Seca al aire, gr.	1099.6
11 Peso de la muestra con Sup. Sat. Seca en el agua, gr.	1104.8
12 Volumen (10)-(11)	620.6
13 Peso específico promedio masivo del agreg. Total, Ec. A	625.1
14 Medida del máximo peso específico teórico, Ec B	484.2
15 Peso específico virtual del agregado, Ec. C*	484.0
16 Asfalto absorbido (lb/100)lb. de agregado seco, Ec. D	
17 Medida del peso esp. compactado masivo = (9)/(12)	2.292
	2.271
	2.282

CÁLCULOS (BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA)	
18 Peso del agregado total = (17) x % agreg. en mezcla, gr.	215.416
19 Peso del asfalto total = (17) x % asfalto en mezcla, gr.	12.396
20 Peso del asfalto absorbido = (16) x (18) / 100, gr.	2.008
21 Peso del asfalto efectivo = (19) - (20), gr.	10.388
P1 Peso del polímero = (17) x % polímero en mezcla, gr.	0.383
P2 Volumen del polímero total = (18) / Peso esp. del polímero, cc.	0.288
22 Volumen del agregado total = (18) / (13), cc.	83.027
23 Volumen del asfalto efec = (21) / Peso esp. del asf. cc	10.095

RESULTADOS	
24 Cont. efectivo de asfalto = A _{eff} - [(16/100) x (100-A _{Ext})]	4.55
25 Vacíos de agregado mineral = 100 - (22), %	16.97
26 Vacíos de aire = 100 - (22) - (23), %	6.59
P3 Vacíos llenados con polímero = [(25)-(26)-(23)] x 100 / (25)	1.70
27 Vacíos llenados con asfalto = [(25)-(26)] x 100 / (25)	59.48
27 Peso unitario = (17) x 62.4 lb / pie cúbico	142.39
27 Lectura de estabilidad	320
27 Factor de corrección por volumen de la muestra	1.09
27 Estabilidad medida a 140° F. lb.	3098
27 Estabilidad corregida, lb.	3376
27 Escurrimiento (flujo), 0.01 pulgada	0.11
27 Relación Estabilidad Flujo [(32 / 2.2046) / (33 x 25.4)]	0.11

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS										
Tamiz	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	N° 4	N° 8	N° 10
% Pas	100.0	91.9	85.4	78.4	70.9	63.4	53.9	32.4	14.0	6.8

Relación Polvo / Asfalto = $\frac{Pase\ N^{\circ}\ 200 / 24}{Pase\ N^{\circ}\ 100 / 24} = 1.10$

% de Vacíos de Aire = $\frac{100 - [(14 - 17) / 14] \times 100}{(Método\ Ríce)} = 6.59$

Anexo O. Resultados Con 6% De Sustitución En Mezcla 2



DISEÑO DE MEZCLAS CALIENTES Y DATOS DE CONTROL METODO MARSHALL

Proyecto: DISEÑO DE CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO CON POLÍMEROS RECICLADOS
 Fecha: 14/9/2018
 Hora:

MATERIALES	PESO ESPECÍFICO		Factor del Anillo	TEMP. DE COMPACTACION
	APARENTE	MASIVO		
1 Asfalto A ASHTO T-43	1.029	XXX	9.68	295 P°
2 Agregado Grueso (+ N° 8) AASHTO T 85	XXX	2.594	% de Sustitución de Asfalto	
3 Agregado Fino (N° 8, N° 20) AASHTO T 84	XXX	2.570	6	
4 Polvo Mineral (C° 200) AASHTO T 100	2.745	XXX		
MEDIDA DEL MÁXIMO PESO ESPECÍFICO DE LA MEZCLA, ASTM D 2041 (Método de Rice)				
5 Peso neto de la mezcla suelta al aire, gr.	2000.0		2000.0	
6 Peso de la muestra saturada con superficie seca	2006.6		2006.6	
7 Peso neto del frasco lleno con agua o sumergido gr.	2005.3	820.1	2005.3	
8 Peso neto del frasco y la muestra (vacío y lleno), gr.	3191.8	2.439	3191.7	
MEDIDA DEL PESO ESPECÍFICO MASIVO DE LA MEZCLA COMPACTADA, AASHTO T 166				
9 Peso de la muestra al aire, gr.	1102.5	1096.7	1100.0	
10 Peso de la muestra con Sup. Sat. Seca al aire, gr.	1105.8	1100.1	1104.3	
11 Peso de la muestra con Sup. Sat. Seca en el agua, gr.	618.5	615.5	621.8	
12 Volumen, (10 ⁻³)(11)	487.3	484.6	482.5	
13 Peso específico promedio masivo del agreg. Total, Ec. A				2.595
14 Medida del máximo peso específico teórico, Ec B				2.431
15 Peso específico virtual del agregado, Ec. C*				2.640
16 Asfalto absorbido (lb/100 lb. de agregado seco), Ec. D				0.678
17 Medida del peso esp. compactado masivo = (9) / (12)	2.262	2.263	2.280	2.268
CÁLCULOS (BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA)				
18 Peso del agregado total = (17) x % agreg. en mezcla, gr.				214.142
19 Peso del asfalto total = (17) x % asfalto en mezcla, gr.				11.941
20 Peso del asfalto absorbido = (16) x (18) / 100, gr.				1.451
21 Peso del asfalto efectivo = (19) - (20), gr.				10.490
21P Peso del polímero = (17) x % polímero en mezcla, gr.				0.762
22P Volumen del polímero total = (18) / Peso esp. del polímero, cc.				0.573
22 Volumen del agregado total = (18) / (13), cc.				82.586
23 Volumen del asfalto este = (21) / Peso esp. del asf. cc				10.194
RESULTADOS				
24 Cont. efectivo de asfalto = Aext.-(16/100) x (100-A. Ext.)				4.62
25 Vacíos de agregado mineral = 100 - (22), %				17.46
26 Vacíos de aire = 100 - (22) - (23), %				6.70
27P Vacíos llenados con polímero = [(25)-(26)+(23)] x 100 / (25)				3.28
27 Vacíos llenados con asfalto = [(25)-(26)] x 100 / (25)				58.37
28 Peso unitario = (17) x 62.4 lb / pie cúbico				141.55
29 Lectura de estabilidad	280	295	280	
30 Factor de corrección por volumen de la muestra	1.09	1.09	1.09	
31 Estabilidad medida a 140° F. lb.	2710	2856	2710	
32 Estabilidad corregida, lb.	2954	3113	2954	
33 Escurecimiento (fluo), 0.01 pul gada	0.13	0.12	0.13	
34 Relación Estabilidad Flujo, [(32) / (2.2046) / (33 x 25.4)]				4.24

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS																	
Tamiz	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	N° 4	N° 8	N° 10	N° 16	N° 30	N° 40	N° 50	N° 80	N° 100	N° 200
% Pase			100.0	91.9	85.4	85.4	53.9	32.4	14.0	6.8	3.2	1.4	0.7	0.4	0.2	0.1	0.0
										Relación Polvo / Asfalto = (14 - 17) / (14) x 100 = 6.70							
										Relación Polvo / Asfalto = Pase N° 200 / 24 = 1.08							
										% de Vacíos de Aire = [(14 - 17) / (14)] x 100 = 6.70 (Método Rice)							

Anexo P. Resultados Con 9% De Sustitución En Mezcla 2



DISEÑO DE MEZCLAS CALIENTES Y DATOS DE CONTROL METODO MARSHALL

Proyecto: DISEÑO DE CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO CON POLÍMEROS RECICLADOS Fecha: 14/09/2018 Hora: _____

MATERIALES	PESO ESPECÍFICO		% Agregado	Factor del Anillo	TEMP. DE COMPACTACION
	APARENTE	MASIVO			
1 Asfalto A ASHTO T 43	1.029	XXX	94.4	9.68	295 P
2 Agregado Grueso (+ N° 8) A ASHTO T 85	XXX	2.584	% de Asfalto Extraído	% de Sustitución de Asfalto	
3 Agregado Fino (N° 8, N° 20) A ASHTO T 84	XXX	2.570	5.10	9	
4 Polvo Mineral (N° 200) A ASHTO T 100	2.745	XXX			
MEDIDA DEL MÁXIMO PESO ESPECÍFICO DE LA MEZCLA, ASTM D 2041 (Método de Rice)					
5 Peso neto de la muestra suelta al aire, gr.	2000.0		2000.0		
6 Peso de la muestra saturada con superficie seca	2006.6		2006.6		
7 Peso neto del frasco lleno con agua o sumergido, gr.	2005.3	818.6	2005.3	817.4	
8 Peso neto del frasco y la muestra (vaciado y llenado), gr.	3193.3	2.443	3194.5	2.447	
MEDIDA DEL PESO ESPECÍFICO MASIVO DE LA MEZCLA COMPACTADA, AASHTO T 166					
9 Peso de la muestra al aire, gr.	1102.9	1102.6	1102.8		
10 Peso de la muestra con Sup. Sat. Seca al aire, gr.	1113.3	1110.3	1109.8		
11 Peso de la muestra con Sup. Sat. Seca en el agua, gr.	619.3	621.1	619.0		
12 Volumen, (10 ⁻³ l)	494.0	489.2	490.8		
13 Peso específico promedio masivo del agreg. Total, Ec. A					2.595
14 Medida del máximo peso específico teórico, Ec. B					2.438
15 Peso específico virtual del agregado, Ec. C*					2.645
16 Asfalto absorbido (lb/100 lb. de agregado seco), Ec. D					0.755
17 Medida del peso esp. compactado masivo = (9) / (12)	2.233	2.254	2.247		2.250
CÁLCULOS (BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA)					
18 Peso del agregado total = (17) x % agreg. en mezcla, gr.					212.439
19 Peso del asfalto total = (17) x % asfalto en mezcla, gr.					11.468
20 Peso del asfalto absorbido = (16) x (18) / 100, gr.					1.604
21 Peso del asfalto efectivo = (19) - (20), gr.					9.864
21P Peso del polímero = (17) x % polímero en mezcla, gr.					1.134
22P Volumen del polímero total = (18) / Peso esp. del polímero, cc.					0.853
22 Volumen del agregado total = (18) / (13), cc.					81.880
23 Volumen del asfalto efec = (21) / Peso esp. del asf. cc					9.586
RESULTADOS					
24 Cont. efectivo de asfalto = Aext - [(16/100) x (100-A Ext.)]					4.38
25 Vacíos de agregado mineral = 100 - (22), gr.					18.12
26 Vacíos de aire = 100 - (22) - (23), %					7.68
27P Vacíos llenados con polímero = [(25)-(26)-(23)] x 100 / (25)					4.71
27 Vacíos llenados con asfalto = [(25)-(26)] x 100 / (25)					52.90
28 Peso unitario = (17) x 62.4 lb / pie cúbico					140.43
29 Lectura de estabilidad	250	246	259		
30 Factor de corrección por volumen de la muestra	1.09	1.09	1.09		
31 Estabilidad medida a 140° F. lb.	2420	2381	2507		
32 Estabilidad corregida, lb.	2638	2596	2733		2655
33 Escurecimiento (flujos) 0.01 pulgadas	0.17	0.16	0.15		0.160
34 Relación Estabilidad Flujo [(32) / (2.2046) / (33 x 25.4)]					296

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS																	
Tamiz	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	N° 4	N° 8	N° 10	N° 16	N° 30	N° 40	N° 50	N° 80	N° 100	N° 200
% Pase	100.0	100.0	91.9	85.4	53.9	32.4	14.0	9.7	6.8	5.0							
Relación Polvo / Asfalto = Pase N° 200 / 24 = 1.14											% de Vacíos de Aire = [(14 - 17) / 14] x 100 = 7.68 (Método Rice)						

RO-CT-12 Version 2 Aprobado por Gerente de Proyectos

Aprobado 11-07-06
Página 1 de 2

PROYECTO: DISEÑO DE CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO CON POLÍMEROS RECICLADOS

Fecha: 14/09/2018 Hora: _____

MATERIALES	PESO ESPECÍFICO		% Agregado	Factor del Anillo	TEMP. DE COMPACTACION
	APARENTE	MASIVO			
1. Asfalto A ASHTO T 43	1.029	XXX	94.4	9.68	295 F
2. Agregado Grueso (C N° 8). A ASHTO T 85	XXX	2.594	% de Asfalto Extraído	% de Sustitución de Asfalto	
3. Agregado Fino (N° 8; N° 20) A ASHTO T 84	XXX	2.570	4.76	15	
4. Polvo Mineral (N° 200) A ASHTO T 100	2.745	XXX			

MEDIDA DEL MÁXIMO PESO ESPECÍFICO DE LA MEZCLA, ASTM D 2041 (Método de Rice)

5. Peso neto de la muestra suelta al aire, gr.	2000.0			2000.0
6. Peso de la muestra saturada con superficie seca	2006.6			2006.6
7. Peso neto del frasco lleno con agua, o sumergido gr.	2005.3	817.0		816.8
8. Peso neto del frasco (vaciado y lleno), gr.	3194.9	2.448		3195.1

MEDIDA DEL PESO ESPECÍFICO MASIVO DE LA MEZCLA COMPACTADA, A ASHTO T 166

9. Peso de la muestra al aire, gr.	1104.8	1098.9	1105.2	
10. Peso de la muestra con Sup. Sat. Seca al aire, gr.	1114.4	1107.4	1115.4	
11. Peso de la muestra con Sup. Sat. Seca en el agua, gr.	621.4	618.8	622.1	
12. Volumen, (10)-(11)	493.0	488.6	493.3	
13. Peso específico promedio masivo del agreg. Total, Ec. A				2.595
14. Medida del máximo peso específico teórico, Ec B				2.441
15. Peso específico virtual del agregado, Ec. C*				2.643
16. Asfalto absorbido (lb/100 lb. de agregado seco), Ec. D				0.734
17. Medida del peso esp. compactado masivo = (9) / (12)	2.241	2.249	2.240	2.243

CÁLCULOS (BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA)

18. Peso del agregado total = (17) x % agreg. en mezcla, gr.				211.786
19. Peso del asfalto total = (17) x % asfalto en mezcla, gr.				10.679
20. Peso del asfalto absorbido = (16) x (18) / 100, gr.				1.556
21. Peso del asfalto efectivo = (19)-(20), gr.				9.123
21P. Peso del polímero = (17) x % polímero en mezcla, gr.				1.885
22P. Volumen del polímero total = (18) / Peso esp. del polímero, cc.				1.417
22. Volumen del agregado total = (18) / (13), cc.				81.628
23. Volumen del asfalto efec = (21) / Peso esp. del asf. cc				8.866

RESULTADOS

24. Cont. efectivo de asfalto = Aext-(16/100) x (100-A Ext.)				4.06
25. Vacíos de agregado mineral = 100-(22), %				18.37
26. Vacíos de aire = 100-(22)-(23), %				8.09
27P. Vacíos llenados con polímero = [(25)-(26)] x 100 / (25)				7.71
27. Vacíos llenados con asfalto = [(25)-(26)] x 100 / (25)				48.26
28. Peso unitario = (17) x 62.4 lb / pie cúbico				139.99
29. Lectura de estabilidad	270	285	257	
30. Factor de corrección por volumen de la muestra	1.09	1.09	1.09	
31. Estabilidad medida a 140° F. lb.	261.4	275.9	248.8	
32. Estabilidad corregida, lb.	284.9	300.7	271.2	
33. Escurrimiento (flujo), 0.01 pulgada	0.16	0.14	0.17	
34. Relación Estabilidad Flujo [(32) / (2.2046) / (33 x 2.54)]				3.26

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS

Tamiz	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	N° 4	N° 8	N° 10	N° 16	N° 30	N° 40	N° 50	N° 80	N° 100	N° 200
% Pase		100.0	91.9	85.4	85.4	3.8"	1.4"	53.9	32.4	14.0	8.09	4.06	2.24	1.41	0.88	0.57	0.26

Relación Polvo / Asfalto = $\text{Pase } N^{\circ} 200 / 24 = 1.23$

% de Vacíos de Aire = $[(14 - 17) / 14] \times 100 = 8.09$ (Metodo Rice)



PRODECON, S.A. de C.V.
Profesionales de la Construcción, S.A. de C.V.

GRAFICOS DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA

DISEÑO DE CONCRETO ASFALTICO MODIFICADO CON
POLIMEROS RECICLADOS

Plantei Olimpico

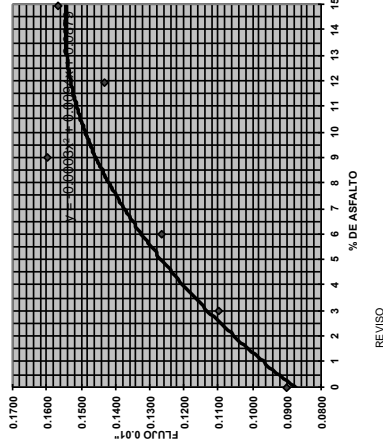
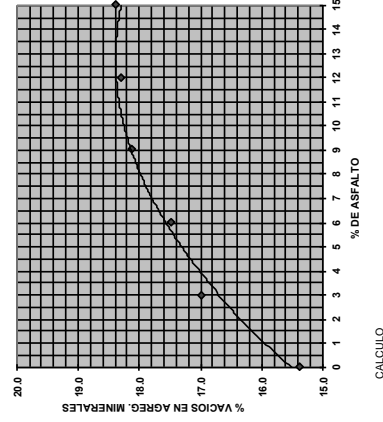
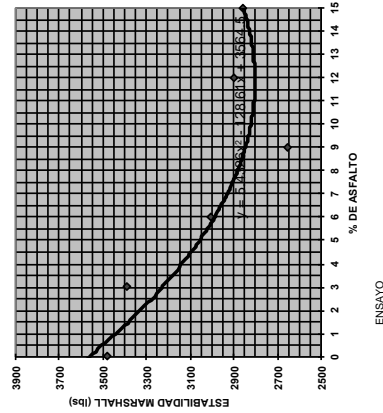
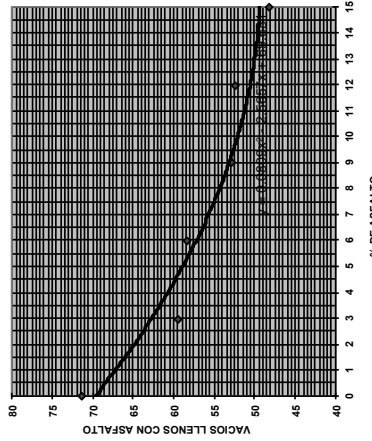
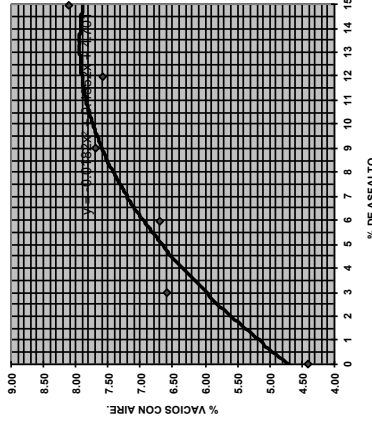
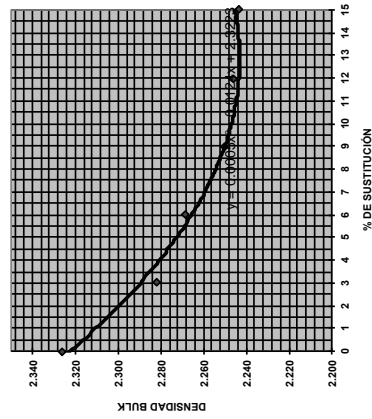
MEZCLA Sustitución de asfalto por PET (Corregido)

PROYECTO LOCALIZACION

MUESTRA PLANTEI OLIMPICO

REMITA

FECHA 14/9/2018



ENSAYO

CALCULO

REVISO

Elaboró: Mauricio Palma

Aprobó: Ing. Roy Hernandez (cc:Santos Cartagena)

RO-CT-24
Version 3

Aprobado por: Gerente de Proyectos

Aprobado 11-07-06
Página 1 de 2

PROYECTO: DISEÑO DE CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO CON POLÍMEROS RECICLADOS Fecha: 29/9/18 Hora: 29/9/18

DISEÑO DE MEZCLAS CALIENTES Y DATOS DE CONTROL METODO MARSHALL

MATERIALES	PESO ESPECÍFICO		% Agregado	Factor del Anillo	TEMP. DE COMPACTACION
	APARENTE	MASIVO			
1. Asfalto A ASHTO T 43	1,029	XXX	83.7	9.68	295 P
2. Agregado Grueso (+ N° 8) AASHTO T 85	XXX	2.594	% de Asfalto Extraido	% de Adición	
3. Agregado Fino (N° 8+ N° 200) AASHTO T 84	XXX	2.570	5.75	9% (Del % de Asfalto)	
4. Polvo Mineral (c. N° 200) AASHTO T 100	2.745	XXX			

MEDIDA DEL MÁXIMO PESO ESPECÍFICO DE LA MEZCLA, ASTM D 2041 (Método de Rice)					
5. Peso neto de la mezcla suelta al aire, gr.	2000.0			2000.0	
6. Peso de la muestra saturada con superficie seca	2005.6			2005.6	
7. Peso neto del frasco lleno con agua, o sumergido gr.	2005.3	826.0		829.0	
8. Peso neto del frasco y la muestra (vacío y lleno), gr.	3184.9	2.421		3181.9	

MEDIDA DEL PESO ESPECÍFICO MASIVO DE LA MEZCLA COMPACTADA, AASHTO T 166					
9. Peso de la muestra al aire, gr.	1101.8	1102.5	1081.2		
10. Peso de la muestra con Sup. Sat. Seca al aire, gr.	1105.1	1106.5	1083.7		
11. Peso de la muestra con Sup. Sat. Seca en el agua, gr.	622.0	619.1	613.6		
12. Volumen, (10)-(11)	483.1	487.4	470.1		
13. Peso específico promedio masivo del agreg. Total, Ec. A					2.595
14. Medida del máximo peso específico teórico, Ec. B					2.410
15. Peso específico virtual del agregado, Ec. C*					2.639
16. Asfalto absorbido (lb/100 lb. de agregado seco), Ec. D					0.664
17. Medida del peso esp. compactado masivo = (9)/(12)	2.281	2.262	2.300		2.290

CÁLCULOS (BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA)					
18. Peso del agregado total = (17) x % agreg. en mezcla, gr.					214.677
19. Peso del asfalto total = (17) x % asfalto en mezcla, gr.					13.169
20. Peso del asfalto absorbido = (16) x (18) / 100, gr.					1.425
21. Peso del asfalto efectivo = (19) - (20), gr.					11.744
21P. Peso del polímero = (17) x % polímero en mezcla, gr.					1.185
22P. Volumen del polímero total = (18) / Peso esp. del polímero, cc.					0.891
22. Volumen del agregado total = (18) / (13), cc.					82.742
23. Volumen del asfalto efec = (21) / Peso esp. del asf. cc					11.413

RESULTADOS											
24. Cont. efectivo de asfalto = Aext.-(16/100) x (100-A Ext.)											5.12
25. Vacíos de agregado mineral = 100 - (22), %											17.26
26. Vacíos de aire = 100 - (22) - (23), %											4.95
27P. Vacíos llenados con polímero = [(25)-(26)-(23)] x 100 / (25)											5.16
27. Vacíos llenados con asfalto = [(25)-(26)] x 100 / (25)											66.13
28. Peso unitario = (17) x 62.4 lb / pie cúbico											142.92
29. Lectura de estabilidad	270	280	310								
30. Factor de corrección por volumen de la muestra	1.09	1.09	1.09								
31. Estabilidad medida a 140° F. lb.	2614	2710	3001								
32. Estabilidad corregida, lb.	2849	2954	3271								3025
33. Escurecimiento (flujo), 0.01 pul gada	0.16	0.14	0.17								0.157
34. Relación Estabilidad Flujo [(32) / (33 x 25.4)]											345

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS																	
1mmiz	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	N° 4	N° 8	N° 10	N° 16	N° 30	N° 40	N° 50	N° 80	N° 100	N° 200
% Pase				100.0	91.9	85.4	75.9	53.9	32.4	14.0	4.95			9.7	6.8	5.0	

Relación Polvo / Asfalto = Pase N° 200 / 24 = 0.98
 % de Vacíos de Aire = [(14 - 17) / 14] x 100 = 4.95 (Método Rice)

Nota: El 9% del bitumen equivale al 0.5% del total de la muestra.

Anexo U. Resultados Con 2% Del Total Como Adición en Mezcla 3



DISEÑO DE MEZCLAS CALIENTES Y DATOS DE CONTROL METODO MARSHALL

Proyecto: DISEÑO DE CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO CON POLÍMEROS RECICLADOS
 Fecha: 29/9/18
 Hora:

MATERIALES	PESO ESPECÍFICO		Factor del Anillo	TEMP. DE COMPACTACION
	APARENTE	MASIVO		
1. Asfalto A. ASHTO T.43	1.029	XXX	9.68	295 F
2. Agregado Grueso (+ N°8) A.ASHTO T. 85	XXX	2.594	% de Adición	
3. Agregado Fino (N° 8, +N°20) A.ASHTO T. 84	XXX	2.570	2% (Del Total de Mezcla)	
4. Polvo Mineral c. N° 200 A.ASHTO T. 100	2.745	XXX		

MEDIDA DEL MÁXIMO PESO ESPECÍFICO DE LA MEZCLA, ASTM D 2041 (Método de Rice)				
5. Peso neto de la mezcla suelta al aire, gr.	2000.0			2000.0
6. Peso de la muestra saturada con superficie seca	2003.9			2005.6
7. Peso neto del frasco lleno con agua, o sumergido gr.	833.9			2005.3
8. Peso neto del frasco y la muestra (vacío y lleno), gr.	3175.3	2.398		3181.9

MEDIDA DEL PESO ESPECÍFICO MASIVO DE LA MEZCLA COMPACTADA, AASHTO T 166				
9. Peso de la muestra al aire, gr.	1114.4	1107.8	1113.3	
10. Peso de la muestra con Sup. Sat. Seca al aire, gr.	1125.1	1119.1	1122.9	
11. Peso de la muestra con Sup. Sat. Seca en el agua, gr.	617.4	611.6	611.8	
12. Volumen (10)-(11)	507.7	507.5	511.1	
13. Peso específico promedio masivo del agreg. Total, Ec. A				2.595
14. Medida del máximo peso específico teórico, Ec. B				2.398
15. Peso específico virtual del agregado, Ec. C*				2.666
16. Asfalto absorbido (lb/100 lb. de agregado seco), Ec. D				1.060
17. Medida del peso esp. compactado masivo = (9)/(12)	2.195	2.183	2.178	2.185

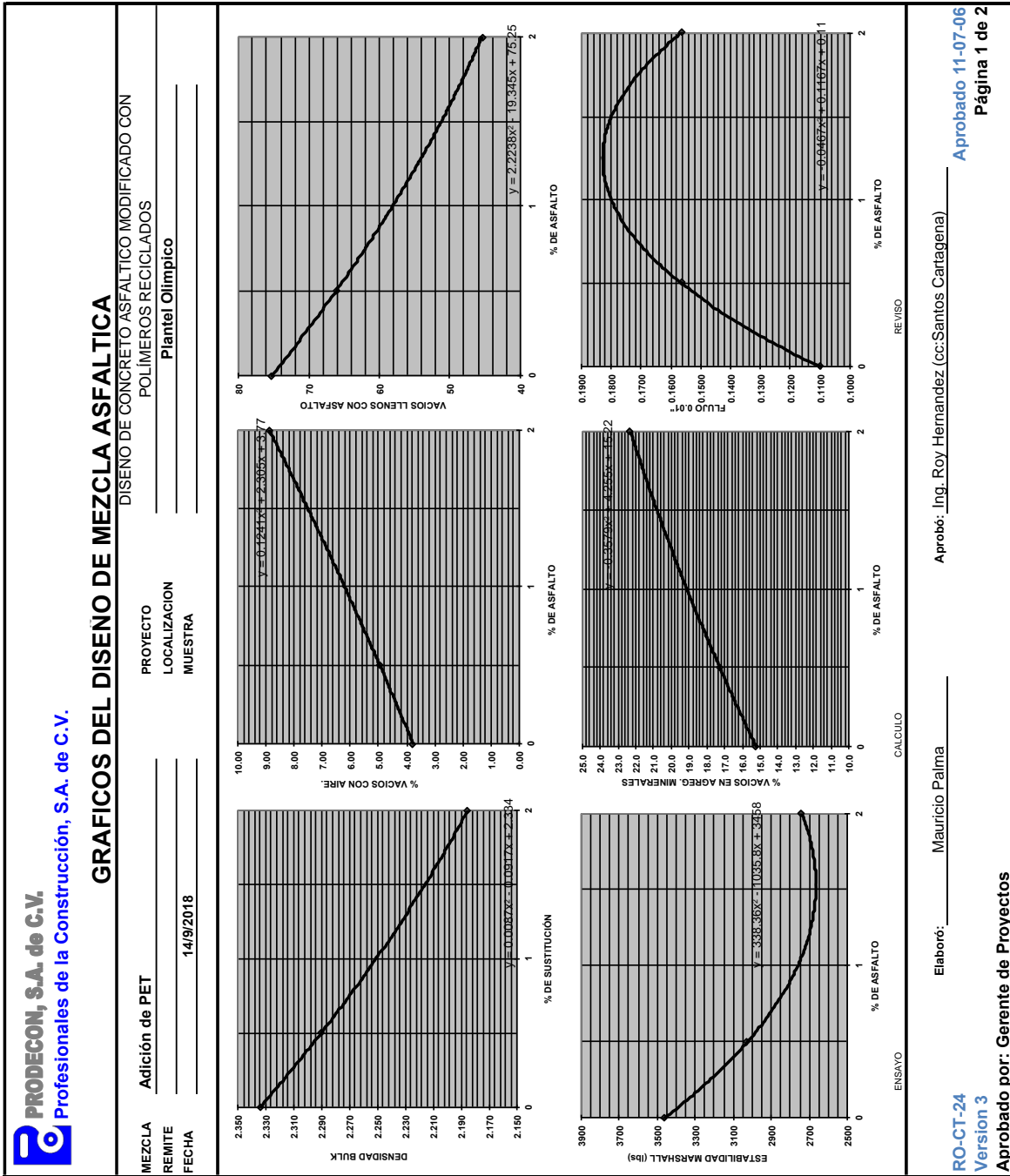
CÁLCULOS (BASADOS EN 100 cc DE MEZCLA COMPACTADA)				
18. Peso del agregado total = (17) x % agreg. en mezcla, gr.				201.600
19. Peso del asfalto total = (17) x % asfalto en mezcla, gr.				12.566
20. Peso del asfalto absorbido = (16) x (18) / 100, gr.				2.136
21. Peso del asfalto efectivo = (19) - (20), gr.				10.430
21P. Peso del polímero = (17) x % polímero en mezcla, gr.				4.371
22P. Volumen del polímero total = (18) / Peso esp. del polímero, cc.				3.286
22. Volumen del agregado total = (18) / (13), cc.				77.702
23. Volumen del asfalto efec = (21) / Peso esp. del asf. cc				10.136

RESULTADOS										
24. Cont. efectivo de asfalto = Aext-(16/100) x (100-A Ext)										4.75
25. Vacíos de agregado mineral = 100 - (22), gr.										22.30
26. Vacíos de aire = 100 - (22) - (23), %										8.88
27P. Vacíos llenados con polímero = [(25)-(26)-(23)] x 100 / (25)										14.74
27. Vacíos llenados con asfalto = [(25)-(26)] x 100 / (25)										45.46
28. Peso unitario = (17) x 62.4 lb / pie cúbico										136.37
29. Lectura de estabilidad	260	240	279							
30. Factor de corrección por volumen de la muestra	1.09	1.09	1.09							
31. Estabilidad medida a 140° F. lb.	2517	2323	2701							2740
32. Estabilidad corregida, lb.	2743	2552	2944							
33. Escurremiento (flujo) 0.01 pulgada	0.16	0.14	0.17							0.157
34. Relación Estabilidad Flujo [(32 / 2.2046) / (33 x 25.4)]										3.12

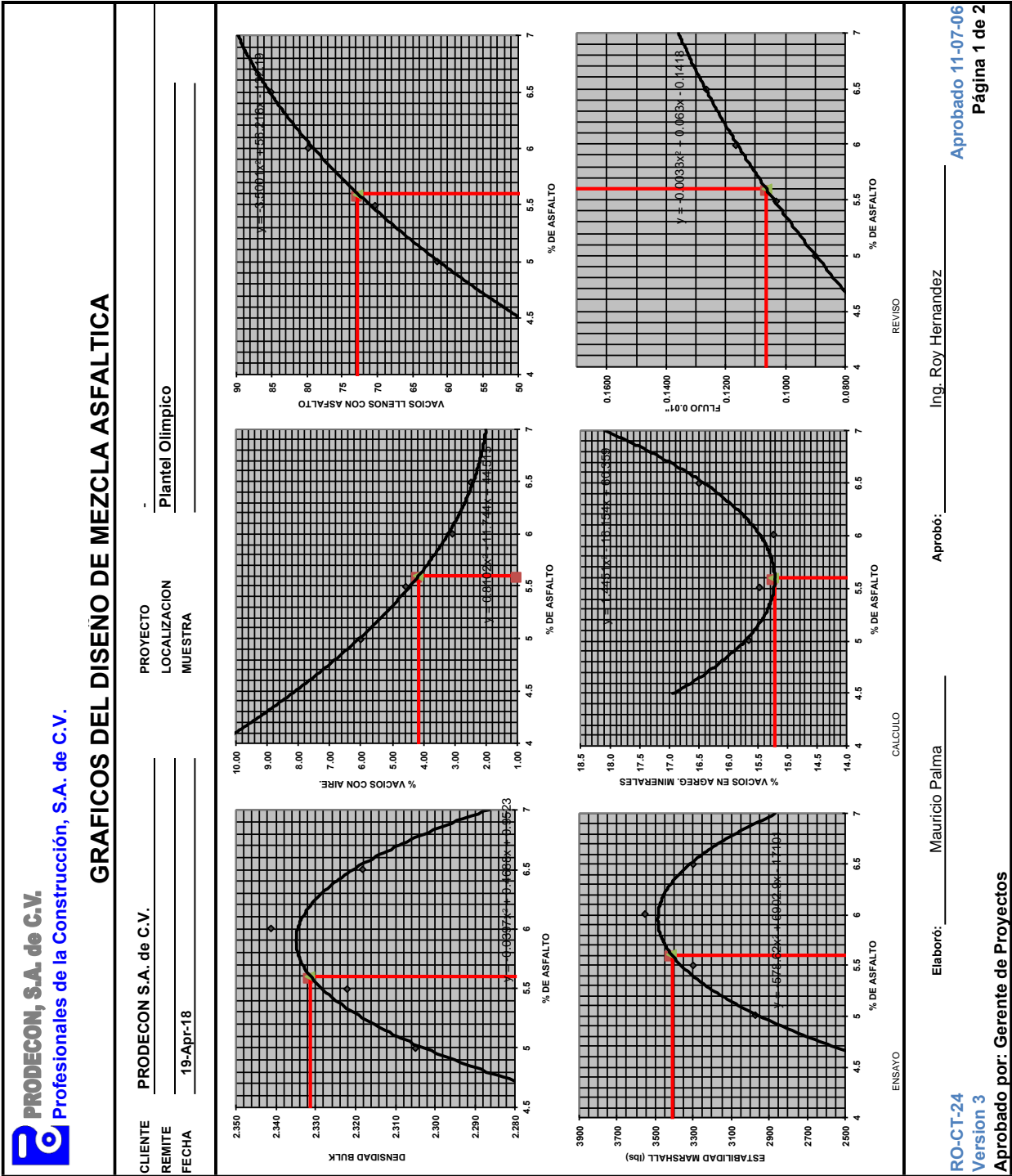
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS																		
Tamiz	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	N° 4	N° 8	N° 10	N° 16	N° 30	N° 40	N° 50	N° 60	N° 80	N° 100	N° 200
% Pase	100.0	91.9	85.4	85.4	53.9	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	14.0	14.0	9.7	6.8	5.0	5.0	5.0	5.0

Relación Polvo / Asfalto = $\frac{1.05}{1.05} = 1.05$
 Relación Polvo / Asfalto = $\frac{1.05}{1.05} = 1.05$
 % de Vacíos de Aire = $\frac{8.88}{100} = 8.88\%$

Anexo V. Gráficas De Resultados De Mezcla 3



Nota: Los datos de la mezcla sin plástico fueron tomados de resultados de pruebas realizadas por PRODECON anteriormente, no obstante, con agregados del mismo banco y tipo de bitumen. Ver en Anexo W.



Nota: Línea roja indica los resultados para 5.75% de bitumen.

Anexo X. Pesos Específicos De Agregados



PESOS ESPECIFICOS DE AGREGADOS FINOS, GRUESOS Y LLENANTE MINERAL

PROYECTO: _____

P. E. de Finos que pasa tamiz No. 8 Retenido tamiz No. 200

Procedencia de la Muestra: Rio Chamelecon Fecha: 28-08-2018

Uso propuesto: Mezcla Asf Capa: 2 Ensayado por: Sergio Tabora Fecha: 28-08-2018

NOTA: Se notan los pesos lo más cercano a 0.1 gr. Se informara el P. E. con una exactitud de 2 decimales.

Item	Proceso	Ensayo N°1	Ensayo N°2	Ensayo N°3	Promedio	Un.
A	Wo, Peso Muestra condición Seca en horno	487.1	487.2	488.0		gr
B	Ws, Peso de Pignometro lleno hasta la marca	1453.7	1453.8	1453.7		gr
C	Peso Pignometro Muestra con S. de Agua Aumentada	1763.9	1764.2	1764.2		gr
S	Ws, Peso Muestra en condición Superficie saturada Seca	500.0	500.0	500.0		gr
OD	Gravedad Especifica, $\frac{OD}{A/(B+S-C)}$	2.566	2.570	2.575	2.570	
SSD	Gravedad Especifica, $\frac{SSD}{B/(B+S-C)}$	2.634	2.637	2.639	2.637	
G.E.A	Gravedad Especifica, $\frac{A}{A/(B+A-C)}$	2.754	2.756	2.749	2.753	
A.B	% ABSORCION, $\frac{(S-A)}{A} * 100$	2.65	2.63	2.46	2.58	%

P. E. de Gruesos, retenido tamiz N° 8

Procedencia de la Muestra: Rio Chamelecon Fecha: 28-08-2018

Uso propuesto: Mezcla Asf Capa: 2 Ensayado por: Sergio Tabora Fecha: 28-08-2018

NOTA: Se notan los pesos lo más cercano a 0.5 gr. Se informara el P. E. con una exactitud de 2 decimales.

Item	Proceso	Ensayo N°1	Ensayo N°2	Ensayo N°3	Promedio	Un.
A	Wo, Peso Muestra condición Seca en horno	1834.5	1960.7	1687.9		gr
B	Ws, Peso Muestra saturada en Superficie Seca en Aire	1865.2	1993.3	1714.7		gr
C	Ws, Peso Muestra sumergida en agua	1140.2	1248.6	1070.2		gr
OD	Gravedad Especifica, $\frac{OD}{B/(B-C)}$	2.530	2.633	2.619	2.594	
SSD	Gravedad Especifica, $\frac{SSD}{B/(B-C)}$	2.573	2.677	2.661	2.637	
G.E.A	Gravedad Especifica, $\frac{A}{A/(A-C)}$	2.642	2.753	2.733	2.709	
A.B	% ABSORCION, $\frac{(B-A)}{A} * 100$	1.67	1.66	1.59	1.63	%

P. E. de Llenante Mineral

Procedencia de la Muestra: Rio Chamelecon Fecha: 28-08-2018

Uso propuesto: Mezcla Asf Capa: 2 Ensayado por: Sergio Tabora Fecha: 28-08-2018

NOTA: Se notan los pesos lo más cercano a 0.1 gr. Se informara el P. E. con una exactitud de 2 decimales.

Item	Proceso	Ensayo N°1	Ensayo N°2	Ensayo N°3	Promedio	Un.
A	Peso de Material en Gramos	100.00	100.00	100.00		gr
B	Peso de Frasco Agua	366.16	356.38	344.96		gr
C	Peso de Frasco Agua + Material	429.86	419.82	408.51		gr
G.E.A	Gravedad Especifica $\frac{100}{(A+B-C)}$	2.755	2.735	2.743	2.745	

Elaboró: Sergio Tabora

Ing. Roy Hernández cc: Santos

Aprobó: Cartagena

RO-CT-17

Versión 3

Aprobado 1-07-2006

Página 1 de 1

Aprobado por: Gerente de Proyectos

Anexo Y. Especificaciones De Bitumen AC-30



ORIGEN: TERMINAL UNO BITUMEN
LOTE: AC30 2018-09
PRODUCTO: BITUMEN AC30

FECHA DE ENTREGA: 06 AGOSTO 2018
CERTIFICADO No.: 7313
ENSAYOS: 01 AGOSTO 2018
ANALIZADO POR: GERARDO JUÁREZ

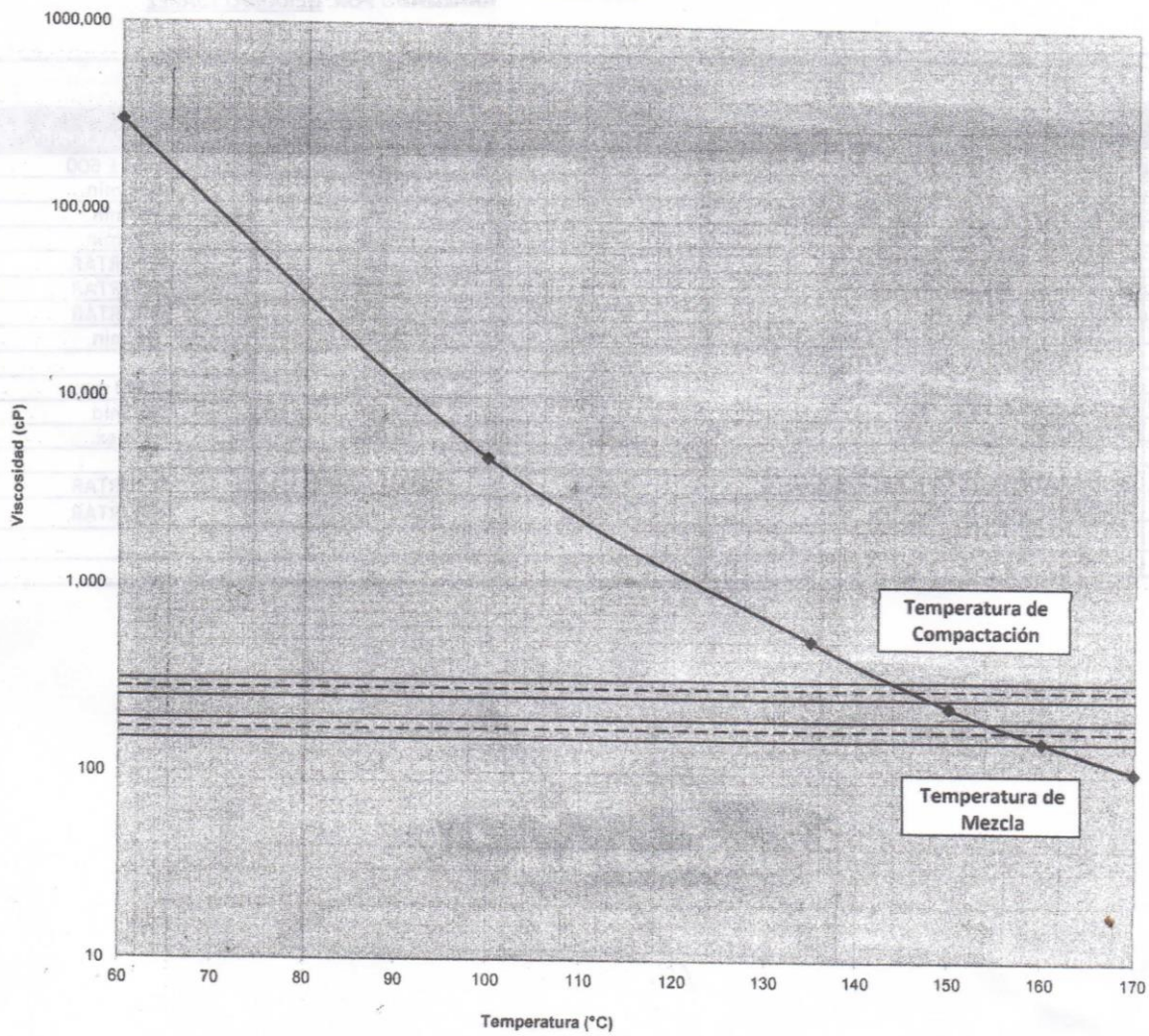
REPORTE DE ANÁLISIS

N°	ANÁLISIS	METODO ASTM	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES
1	VISCOSIDAD, 140°F (60°C); P	D 4402	3,300	3,000 ± 600
2	VISCOSIDAD, 275°F, (135°C); cSt	D 4402	524	350 min.
3	PENETRACIÓN 25°C, 100g, 5S; mm/10	D 5	54	50 min.
4	PUNTO DE DESTELLO, COC; °C	D 92	328	230 min.
5	PUNTO DE ABLANDAMIENTO; °C	D 36	51	REPORTAR
6	GRAVEDAD ESPECIFICA; A 60°F	D 70	1.030	REPORTAR
7	DUCTILIDAD, 25°C; cm	D 113	> 150	REPORTAR
8	SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO; %	D 2042	99.95	99 min.
	ENSAYOS AL RESIDUO DE RTFOT	D 2872		
9	VISCOSIDAD, 140°F (60°C), P	D 4402	9,510	12,000 max.
10	DUCTILIDAD A 25°C, cm	D 113	>150	40 min.
11	CAMBIO DE MASA, % P/P	D 2872	0.041	1 max.
12	TEMPERATURA DE COMPACTACION, °C	D 4402	143°C -- 148°C	REPORTAR
13	TEMPERATURA DE MEZCLA, °C	D 4402	155°C -- 160°C	REPORTAR

LOTE: AC30 2018-09
FECHA DE ENTREGA: 06 AGOSTO 2018

TEMP. DE COMPACTACION: 143°C – 148°C
TEMP. DE MEZCLA: 155°C – 160°C

CURVA REOLOGICA AC30



FO-BTCC-01 REV1

Anexo Z. Gravedad Especifica PET



PESOS ESPECIFICOS DE AGREGADOS FINOS, GRUESOS Y LLENANTE MINERAL

PROYECTO:

P. E. de PET utilizando metodo para Llenante Mineral

Procedencia de la Muestra: INVEMA

Fecha: _____

Uso propuesto: Mezcla Asf

Capa: _____ Ensayado por: Alejandro Hawith

NOTA: Se anotaran los pesos lo mas cercano a 0.1 gr. Se informara en P. E. con una exactitud de 2 decimales.

Item	Proceso	Ensayo N°1	Ensayo N°2	Ensayo N°3	Promedio	Un.
A	Peso de Material en Gramos	100.00	100.00	100.00		gr
B	Peso de Frasco + Agua	378.21	378.24	378.22		gr
C	Peso de Frasco + Agua + Material	403.25	403.10	402.70		gr
G.E.A	Gravedad Especifica Aparente $100/(A+B-C)$	1.334	1.331	1.324	1.330	

Elaboró: Alejandro Hawith

Aprobó: Mauricio Palma

RO-CT-17

Aprobado 1-07-2006

Versión 3

Página 1 de 1

**ND T 166 - BULK SPECIFIC GRAVITY OF COMPACTED
ASPHALT MIXTURES USING
SATURATED SURFACE-DRY SPECIMENS**

Conduct this procedure according to ND T 166, Method A.

The AASHTO standard test procedure specifies cores to be immersed for 4 ± 1 minutes. The NDDOT modification specifies cores to be immersed for 3 to $3\frac{1}{2}$ minutes.

Consult the current edition of AASHTO for procedure in its entirety and equipment specification details.

SCOPE

This test procedure determines the bulk specific gravity of specimens of compacted asphalt mixtures.

REFERENCED DOCUMENTS

AASHTO T 166, Bulk Specific Gravity of Compacted Asphalt Mixtures Using Saturated Surface-Dry Specimens
AASHTO T 275, Bulk Specific Gravity of Compacted Bituminous Mixtures Using Paraffin-Coated Specimens
AASHTO T 331, Bulk Specific Gravity and Density of Hot Mix Asphalt Using Automatic Vacuum Sealing Method

APPARATUS

Balance, readable to 0.1% of the sample weight
Suspension apparatus
Water bath with overflow outlet
Damp towel

TEST SPECIMEN

Test specimens may be either laboratory molded or cores taken from HMA pavements. They shall be free from foreign material such as seal coat, tack coat or foundation material. Layers may be separated by sawing or other suitable means with care taken not to damage the specimen. Laboratory molded specimens may be cooled by a fan.

PROCEDURE

Record all weights to the nearest 0.1 g.

Dry the specimens to constant weight.

Samples saturated with water shall be initially dried overnight at $125 \pm 5^\circ\text{F}$ ($52 \pm 3^\circ\text{C}$) then weighed at two-hour intervals. Recently molded laboratory specimens which have not been exposed to moisture do not require drying.

Cool the specimens to $77 \pm 9^\circ\text{F}$ ($25 \pm 5^\circ\text{C}$) and weigh each specimen. Record this mass as specimen in air.

Immerse each specimen in water at $77 \pm 1.8^\circ\text{F}$ ($25 \pm 1^\circ\text{C}$) suspended beneath a balance for a period of 3 to $3\frac{1}{2}$ minutes. Record this mass as specimen in water.

Remove the specimen from the water and surface dry by blotting with a damp towel. Weigh the mass as quickly as possible and record as surface-dry specimen in air.

CALCULATIONS

To calculate the bulk specific gravity, use the following formula:

$$\text{Bulk Specific Gravity } (G_{mb}) = [A/(B - C)]$$

A = Weight in grams of the specimen in air

B = Weight in grams, surface dry

C = Weight in grams, in water

Report the bulk specific gravity to the nearest 0.001.

The bulk specific gravity may be used to calculate the unit weight of the specimens by multiplying by 62.4. The results are in lbs/cu.ft.

Calculate the percent of water absorbed by the specimen (on a volume basis) as follows:

$$\text{Percent of water absorbed by volume} = [(B - A)/(B - C)] \times 100$$

If the percent of water absorbed by the specimen exceeds 2%, use AASHTO T 275 or AASHTO T 331 to determine the bulk specific gravity.

NOTES

Constant weight is defined as when further drying does not change the weight by more than 0.05% at two-hour intervals.

Terry cloth has been found to work well for an absorbent cloth. Damp is considered to be when no water can be wrung from the towel.

CALIBRATION

A calibration check of the equipment should be performed annually as a minimum, or whenever damage or repair occurs.

ND T 245 - RESISTANCE TO PLASTIC FLOW OF BITUMINOUS MIXTURES USING MARSHALL APPARATUS

Conduct this procedure according to ND T 245.

Consult the current edition of AASHTO for procedure in its entirety and equipment specification details

SCOPE

This procedure is used to prepare cylindrical specimens of bituminous paving mixture loaded on the lateral surface by means of a Marshall apparatus.

REFERENCED DOCUMENTS

NDDOT 5, Sampling and Splitting Field Verification Hot Mix Asphalt (HMA) Samples
AASHTO T 245, Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus

APPARATUS

Mold cylinders, base plate and extension collars	Spatula
Triple compaction hammer and apparatus	Colored grease pencil
Compaction pedestal	Pans
Extrusion jack	Mixing Bowl
Oven or hot plate	Mechanical mixing apparatus
Fan (optional)	Thermometers
Balance	Gloves
Paper disks	Breaking head
Spoons	Marshall Stability machine
	Water bath

TEST SPECIMEN

Material used to prepare at least three specimens may be obtained from behind the paver as outlined in NDDOT 5.

PROCEDURE

Heat the sample in an oven to $270 \pm 5^\circ\text{F}$.

Heat the molds and hammer faces to a temperature between 200° to 300°F (93° to 149°C). Once heated, the hammer may be placed in a sand bath or on a hot plate to maintain the temperature.

Enough material shall be used that will result in a compacted specimen 2.5 ± 0.05 " (63.5 ± 1.27 mm) in height. This will take approximately 1200 g.

Assemble the mold and collar on the base plate. Place the assembled mold on a scale and place a paper disk in the bottom of the mold. Add approximately 1200 g of mix into the mold.

Position the mold assembly on the mold holder of the triple Marshall Mix compaction machine. Using a heated spatula, spade around the outer perimeter of the mold 15 times. Then spade the interior portion of the mix 10 times.

Form the top of the mix into a smooth, slightly-rounded mound. Place a paper disk on the top of the mix.

Repeat the same steps for the two remaining molds.

Position and attach the Marshall hammers. Verify that the machine counter is set for the correct number of blows required by the mix design. This may be either 50 or 75 blows with the compaction hammer having a free fall of 18". Push the start button on the counter and wait for the machine to complete its blows.

Remove the base plate and collar. Turn the molds over and reassemble the mold with the base plate and collar. Apply the same number of compaction blows as on the reverse side.

When the compaction blows are complete, remove the hammers from the apparatus. Take the molds off the bases and remove the paper disks. Keep the last side compacted facing up.

Mark the specimens on the last side compacted at each asphalt content with a colored grease pencil. As an example, mark them 5-A, 5-B, or 5-C.

Position the mold in the extrusion jack. With the last side pounded facing up, remove the specimen from the mold and set it aside on a smooth, flat surface at room temperature overnight. A fan can be used for rapid cooling if necessary.

TESTING FLOW AND STABILITY OF A SPECIMEN

If the specimens are to be tested for plastic flow, place the specimens in a water bath 30 to 40 minutes or in an oven for 2 hours. Maintain the bath or oven at $140 \pm 1.8^{\circ}\text{F}$ ($60 \pm 1^{\circ}\text{C}$).

The testing head apparatus temperature shall be between 70° to 100°F (21.1 to 37.8°C).

Guide rods shall be thoroughly clean and lubricated so that the upper test head slides freely over them.

Remove the specimen from the water bath or oven and place in the lower segment of the breaking head. Place the upper segment of the breaking head on the specimen and insert assembly into the compression machine. Adjust the measuring dial to zero in the proving ring to measure maximum load and place the flow meter dial on a guide rod to measure flow.

Apply the load to the specimen with a constant rate of movement for the testing machine head of 2" (50.8 mm) per minute until the maximum load is reached. When applying load hold when maximum load is reached, obtain the dial reading in the proving ring and remove the flow meter dial from its location. Record both values.

The elapsed time for the test from removal of the test specimen from the water bath to the maximum load determination shall not exceed 30 seconds.

CALCULATIONS

To determine the stability of the specimen, the dial reading is converted to a maximum load by a chart supplied with the compression machine.

When core specimens vary from the 2.5" depth, a correction factor must be applied to the maximum load.

To determine stability, use the following formula:

$$\textit{Stability} = \textit{Maximum Load} \times \textit{Correction Factor}$$

Stability is recorded to the nearest whole number.

Flow is a direct reading of the flow meter dial and recorded to 0.01".

Correction factors are found in the following table.

CORRECTION FACTOR TABLE

Volume of Specimen (cm ³)	Thickness of Specimen		Correlation Ratio	Volume of Specimen (cm ³)	Thickness of Specimen		Correlation Ratio
	(in.)	mm			(in.)	mm	
200 to 213	1	25.4	5.56	406 to 420	2	50.8	1.47
214 to 225	1 1/16	27.0	5.00	421 to 431	2 1/16	52.4	1.39
226 to 237	1 1/8	28.6	4.55	432 to 443	2 1/8	54.0	1.32
238 to 250	1 3/16	30.2	4.17	444 to 456	2 3/16	55.6	1.25
251 to 264	1 1/4	31.8	3.85	457 to 470	2 1/4	57.2	1.19
265 to 276	1 5/16	33.3	3.57	471 to 482	2 5/16	58.7	1.14
277 to 289	1 3/8	34.9	3.33	483 to 495	2 3/8	60.3	1.09
290 to 301	1 7/16	36.5	3.03	496 to 508	2 7/16	61.9	1.04
302 to 316	1 1/2	38.1	2.78	509 to 522	2 1/2	63.5	1.00
317 to 328	1 9/16	39.7	2.50	523 to 535	2 9/16	65.1	0.96
329 to 340	1 5/8	41.3	2.27	536 to 546	2 5/8	66.7	0.93
341 to 353	1 11/16	42.9	2.08	547 to 559	2 11/16	68.3	0.89
354 to 367	1 3/4	44.4	1.92	560 to 573	2 3/4	69.9	0.86
368 to 379	1 13/16	46.0	1.79	574 to 585	2 13/16	71.4	0.83
380 to 392	1 7/8	47.6	1.67	586 to 598	2 7/8	73.0	0.81
393 to 405	1 15/16	49.2	1.56	599 to 610	2 15/16	74.6	0.78
				611 to 625	3	76.2	0.76

NOTES

Put the compaction hammers on the Marshall machine by attaching them to the pins at the top of the pedestal. There is a hook on one side of the hammer. This hook must be attached to the chain drive on the machine to maintain the proper sequence.

CALIBRATION

A calibration check of the equipment should be performed annually as a minimum, or whenever damage or repair occurs.



Designation: D 2041 – 03a

Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures¹

This standard is issued under the fixed designation D 2041; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the theoretical maximum specific gravity and density of uncompacted bituminous paving mixtures at 25°C (77°F).

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials

D 979 Practice for Sampling Bituminous Paving Mixtures

D 4753 Guide for Evaluating, Selecting, and Specifying Balances and Standard Masses for Use in Soil, Rock, and Construction Materials Testing

E 1 Specification for ASTM Thermometers

E 12 Terminology Relating to Density and Specific Gravity of Solids, Liquids, and Gases³

3. Terminology

3.1 The terms “specific gravity” and “density” used in this test method are in accordance with Terminology E 12.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *density, as determined by this test method*—the mass of a cubic metre of the material at 25°C (77°F) in SI units.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D04 on Road and Paving Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D04.21 on Specific Gravity and Density of Bituminous Mixtures.

Current edition approved Dec. 1, 2003. Published December 2003. Originally approved in 1964. Last previous edition approved in 2003 as D 2041 – 03.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ Withdrawn.

3.2.2 *residual pressure, as employed by this test method*—the pressure in a vacuum vessel when vacuum is applied.

3.2.3 *specific gravity, as determined by this test method*—the ratio of a given mass of material at 25°C (77°F) to the mass of an equal volume of water at the same temperature.

4. Summary of Test Method

4.1 A weighed sample of oven-dry paving mixture in the loose condition is placed in a tared vacuum vessel. Sufficient water at a temperature of 25°C (77°F) is added to completely submerge the sample. Vacuum is gradually applied to reduce the residual pressure in the vacuum vessel to 4 kPa (30 mm of Hg) or less and then held for 15 ± 2 min. At the end of the vacuum period, the vacuum is gradually released. The volume of the sample of paving mixture is obtained by immersing the vacuum container with the sample in a water bath and weighing or by filling the vacuum container level full of water and weighing in air. Both the temperature and mass are measured at this time. From these mass and volume measurements, the specific gravity or density at 25°C is calculated.

5. Significance and Use

5.1 The theoretical maximum specific gravities and densities of bituminous paving mixtures are fundamental properties whose values are influenced by the composition of the mixture in terms of types and amounts of aggregates and bituminous materials.

5.1.1 Maximum specific gravity is used (1) in the calculation of air voids in the compacted bituminous paving mixture, (2) in calculating the amount of bitumen absorbed by the aggregate, and (3) to provide target values for the compaction of paving mixtures.

6. Apparatus

6.1 Containers:

6.1.1 *Vacuum Bowls*—Either a metal or plastic bowl with a diameter of approximately 180 to 260 mm (7 to 10.25 in.) and a bowl height of at least 160 mm (6.3 in.) shall be equipped with a transparent cover fitted with a rubber gasket and a connection for the vacuum line. Both the bowl and cover should be sufficiently stiff to withstand the applied vacuum

pressure without visibly deforming. The hose connection shall be covered with a small piece of fine wire mesh to minimize the loss of any fine material.

NOTE 1—The transparent cover allows observation of the release of air bubbles.

6.1.2 *Vacuum Flask for Weighing in Air Only*, a thick-walled volumetric glass flask with a capacity of approximately 4000 mL, fitted with a rubber stopper with a connection for the vacuum line. The hose connection in the flask should be covered with a small piece of fine wire mesh to minimize the loss of any fine material

6.2 *Balance*, capable of being read to the nearest 0.1 g and conforming to the requirements of Specification D 4753, Class GP2. If underwater measurements will be taken, then the balance shall be equipped with a suitable suspension apparatus and holder to permit weighing the sample while suspended from the center of the scale.

6.3 *Vacuum Pump or Water Aspirator*, capable of evacuating air from the vacuum container to a residual pressure of 4.0 kPa (30 mm of Hg) or less.

6.3.1 When a vacuum pump is used, a suitable trap shall be installed between the vacuum vessel and vacuum source to reduce the amount of water vapor entering the vacuum pump.

6.4 *Residual Pressure Manometer or Calibrated Absolute Pressure Gage*—This manometer or calibrated absolute pressure gage shall be used to confirm the specified pressure is applied to the container and shall be capable of measuring residual pressure to 4.0 kPa (30 mm of Hg) or less. It is to be connected at the end of the vacuum line using an appropriate tube and either a “T” connector on the top of the container or by using a separate opening (from the vacuum line) in the top of the container to attach the hose. To avoid damage, the manometer or gage itself is not to be situated on top of the vessel but adjacent to it.

NOTE 2—Residual pressure in the vacuum vessel in millimetres of mercury is the difference in the height of mercury.

6.5 *Manometer or Vacuum Gage*, suitable for measuring the vacuum being applied at the source of the vacuum. This device can be connected directly to the vacuum source or be in the vacuum line close to the source.

NOTE 3—The vacuum leg of a residual pressure manometer occasionally acquires one or more air bubbles that introduce error into the residual pressure reading. The additional vacuum gage or manometer provides a means to quickly detect differences between the two vacuum measurements.

6.6 *Thermometers*—Calibrated liquid-in-glass thermometers of suitable range with subdivisions and maximum scale error of 0.5°C (0.9°F), or any other thermometric device of equal accuracy, precision, and sensitivity shall be used. Thermometers shall conform to the requirements of Specification E 1.

6.7 *Water Bath*, capable of maintaining, by any means, a constant temperature of 25.6 ± 1.8°C (77.6 ± 1.8°F). The water bath must be suitable for immersion of the suspended container with its deaerated sample.

6.8 *Bleeder Valve*, attached to the vacuum train to facilitate both the adjustment of the vacuum being applied to the vacuum vessel and the slow release of vacuum pressure.

6.9 *Mechanical Agitation Device*, capable of applying a gentle but consistent agitation of the sample. This device shall be equipped with a means of firmly anchoring the container so that it does not move on the surface of the device.

NOTE 4—If stripping of asphalt is a problem, the device can be equipped with a speed control.

6.10 *Oven*, capable of maintaining a temperature of 110.6 ± 5°C (230.6 ± 9°F). This oven is needed when samples other than laboratory prepared mixtures using oven-dry aggregate are tested.

7. Sampling

7.1 Obtain the sample in accordance with Practice D 979.

7.2 The size of sample shall be as follows:

Nominal Maximum Aggregate Size, mm	Minimum Sample Size, g
37.5 or greater	5000
19 to 25	2500
12.5 or smaller	1500

7.3 Sample sizes greater than about two thirds of the volume of the container shall be tested in portions with none of the portions tested being less than 1250 g.

8. Calibration of Containers

8.1 *Bowls*—Calibrate the container by accurately determining the mass of the container immersed in water at 25.6 ± 1°C (77.6 ± 1.8°F). Designate this mass as *B*.

8.1.1 If the bowl is used for weighing in air, place the volumetric lid on the bowl while under water. Remove the water-filled bowl with the lid in place and dry prior to determining the combined mass of the bowl, lid, and water. Repeat three times and average the results. Designate the average mass as *D*.

8.2 *Flasks*—Calibrate the volumetric flask by accurately determining the mass of the flask filled with water at a temperature of 25.6 ± 1°C (77.6 ± 1.8°F). Designate this mass as *D*. Accurate filling of the flask shall be ensured by the use of a glass cover plate or similar smooth, flat transparent plate.

9. Procedure

9.1 If the paving mixture has been prepared in a laboratory using oven-dry aggregates, proceed to 9.2. Any other sample needs to be dried to a constant mass (mass repeats within 0.1 % for consecutive 15-min weighings) at a temperature of 105.6 ± 5°C (221.6 ± 9°F).

9.2 Once the sample is dry and while it is still warm, separate the particles of the sample of paving mixture by hand, taking care to avoid fracturing the aggregate, so that the particles of the fine aggregate portion are not larger than about 6 mm. Cool the sample to room temperature. Additional separation of the mixture is needed so that the particles of the fine aggregate portion are not larger than about 6 mm. Place the sample directly into the tared bowl or volumetric flask. Do not use a container within a container. Weigh the container with the sample and designate the net mass (mass of sample only) as *A*.

9.3 Add sufficient water at a temperature of approximately 25°C (77°F) to cover the sample completely. Place the cover (bowls) or stopper (flask) on the container.

9.4 Place the container with the sample and water on a mechanical agitation device and anchor it to the surface of the

device. Start the agitation and immediately begin to remove air trapped in the sample by gradually increasing the vacuum pressure until the residual pressure manometer reads 3.7 6 0.3 kPa (27.5 6 2.5 mm) of Hg. The vacuum should be achieved within 2 min. Once the vacuum is achieved, continue the vacuum and agitation for 15 6 2 min.

9.5 Gradually release the vacuum pressure using the bleeder valve and proceed with one of the following determinations:

9.5.1 *Weighing in Water*—Suspend the bowl (without lid) and contents in water for 10 6 1 min, then determine the mass. Measure and record the temperature of the water in the bath. Designate the mass under water of the bowl and sample as *C*.

9.5.2 *Weighing in Air (Bowl)*—Slowly submerge the bowl and sample in the 25 6 1°C (77 6 1.8°F) bath, where it shall remain for 10 6 1 min. The lid shall also be placed in the water bath at the same time. Slide the lid onto the bowl without removing from the water so as to avoid entrapping any air, then firmly press the lid down on the bowl. Remove the bowl with the lid in place from the water bath. Carefully dry the bowl and lid. Determine the mass of the bowl, sample, and lid. Measure and record the temperature of the water in the bowl. Repeat this procedure a second time by removing the lid and placing both the lid and the bowl back in the water. It is not necessary to wait the 10 minutes before taking the second reading. If the mass varies by more than 1.0 g, repeat the procedure until any two mass readings are within 1.0 g. Designate the average mass of these two readings as “*E*,” the mass of the bowl, lid, water, and sample.”

9.5.3 *Weighing in Air (Flask)*—Slowly fill the flask with water taking care not to introduce air into the sample. Place the flask in a water bath for 10 6 1 min to stabilize the temperature without submerging the top of the flask. Measure and record the temperature of the water in the flask. Remove the thermometers and completely fill the flask using a cover plate, taking care not to entrap air beneath the cover plate. The cover plate shall be the same one used during the calibration of the flask. Wipe any moisture from the exterior of the container and cover plate. Determine the mass of the flask, plate, and its contents completely filled with water. Designate this mass as *E*.

10. Calculation

10.1 Calculate the maximum specific gravity of the sample as follows:

10.1.1 *Bowls Used Under Water Determination:*

$$G_{mm} = \frac{A}{A + C - B} \quad (1)$$

where:

G_{mm} = maximum specific gravity of the mixture,

A = mass of dry sample in air, g,

B = mass of bowl under water, g, and

C = mass of bowl and sample under water, g.

10.1.2 *Bowl in Air Determination:*

$$G_{mm} = \frac{A}{A + D - E} \quad (2)$$

where:

G_{mm} = maximum specific gravity of the mixture,

A = mass of dry sample in air, g,

D = mass of lid and bowl with water at 25°C (77°F), g, and

E = mass of lid, bowl, sample, and water at 25°C (77°F), g.

10.1.3 *Flask Determination:*

$$G_{mm} = \frac{A}{A + D - E} \quad (3)$$

where:

G_{mm} = maximum specific gravity of the mixture,

A = mass of dry sample in air, g,

D = mass of cover plate and flask filled with water at 25°C (77°F), g, and

E = mass of flask, cover plate, sample, and water at 25°C (77°F), g.

10.2 If the sample was tested in several portions, report the weighted average maximum specific gravity for all portions tested.

11. Supplemental Procedure for Mixtures Containing Porous Aggregate

11.1 If the pores of the aggregates are not thoroughly sealed by the bituminous film, they may become saturated with water during the vacuum procedure. To determine if this has occurred, proceed as follows after completing the procedure in accordance with 9.5.1, 9.5.2, or 9.5.3.

11.1.1 Drain the water from the container. To prevent the loss of fine particles, decant the water through a 75 μm (No. 200) sieve.

11.1.2 Break several of the large pieces of aggregate and examine the broken surfaces for wetness. If there is any doubt as to whether the mix has absorbed water, proceed with this procedure in order to determine if this correction is needed.

11.2 If aggregate has absorbed water, spread the sample on a flat tray with a nonabsorptive surface and place in front of a fan to remove surface moisture. Break agglomerations of mixture by hand. Stir the sample intermittently in such a way that the aggregate particles are rolled over rather than simply moved horizontally on the tray. This process takes about 2 h. Take care to prevent the loss of particles of mixture.

11.3 Weigh the tray and sample at 15-min intervals. When the loss in mass is less than 0.05 % for this interval, the sample may be considered to be surface dry.

11.4 Substitute the final surface dry mass for *A* and use this value in the denominator of equations shown in Section 10.

12. Report

12.1 Report the following information:

12.1.1 Maximum specific gravity, *G_{mm}*, to the third decimal place.

12.1.2 Type of mixture.

12.1.3 Size of sample.

12.1.4 Number of samples.

12.1.5 Type of container.

12.1.6 Type of procedure.

13. Precision

13.1 Criteria for judging the acceptability of specific gravity test results obtained by this test method are given as follows:

 **D 2041 – 03a**

Test and Type Index	Standard Deviation, 1s	Acceptable Range of Two Test Results, d2s
Test results obtained without use of Section 11: ^A		
Single-operator precision	0.0080	0.023
Multilaboratory precision	0.0160	0.044
Test results obtained with use of Section 11 (for Bowl Method only): ^B		
Single-operator precision	0.0064	0.018
Multilaboratory precision	0.0193	0.055

^A Basis of estimate: analysis of paired test results from 165 to 337 laboratories participating in the AASHTO Materials Reference Laboratory (AMRL) Proficiency Sample Program.

^B Basis of estimate: 2 replicates, 7 materials, 20 laboratories.

13.2 The figures given in Column 2 are the standard deviations that have been found to be appropriate for the conditions of the test described in Column 1. The figures given in Column 3 are the limits that should not be exceeded by the difference between the results of two properly conducted tests.

13.3 The values in Column 3 are the acceptable range for two tests. When more than two results are being evaluated, the range given in Column 3 must be increased. Multiply the standard deviation(s) in Column 2 by the multiplier given in Table 1 of Practice C 670 for the number of actual tests.

Example for three tests: 0.0040 3 3.3 5 0.0132 (4)

Additional guidance and background is given in Practice C 670.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

