



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

INFLUENCIA DEL TEREFTALATO DE
POLIETILENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS –
MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA,
TRUJILLO 2021

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Luz Pamela Cabrejos Nieto

Marco Miguel Junior Vigo Flores

Asesor:

Ing. Germán Sagástegui Vásquez

Trujillo - Perú

2022

DEDICATORIA

A Dios, por tener los tiempos correctos para todo.

A mi hijo Robert Miguel, por ser el motivo principal para alcanzar este objetivo, y seguir superándome día a día.

A mis padres Miguel y Lucha, por haberme inculcado los valores necesarios para llegar hasta aquí, por sus consejos, su paciencia y su amor.

A mi tío Roberto, por siempre estar conmigo, apoyarme en cada paso que doy y haber sido mi inspiración para elegir esta carrera.

A mi tío Joty, porque sé que desde el cielo me impulsaste para lograr esta meta y seguirte sintiendo orgulloso de mí.

A mi hermana Tatiana, por haberme acompañado en este proceso.

A mi mamá Leo, por sus consejos y motivaciones para seguir.

Luz Pamela Cabrejos Nieto

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, por darme la capacidad e inteligencia necesaria y las fuerzas para lograr mis objetivos propuestos en la vida.
A mi padre Marco Antonio que me cuida desde el cielo y por enseñarme el camino correcto mientras estuvo con nosotros.
A mi madre Alfonsina por apoyarme en todo este recorrido universitario y darme las fuerzas de seguir adelante.
A mi hermana Lucy por darme sus ánimos para poder terminar mi carrera profesional de la mejor manera posible.
A toda mi familia por estar unidos siempre y apoyándonos en todo momento en el que uno lo necesite.

Marco Miguel Junior Vigo Flores

AGRADECIMIENTO

A Dios, por brindarme salud, sabiduría, y perseverancia para lograr esta meta.

A mis padres, por su apoyo incondicional durante toda mi etapa universitaria.

A mi tío Roberto, por haberme apoyado siempre.

A la Universidad Privada del Norte y a los profesores por sus conocimientos y consejos brindados.

Al Ing. Germán Sagastegui Vásquez, por ser nuestro asesor y habernos orientado en cada proceso constructivo de esta investigación.

A los expertos en la materia estudiada,

Ph. D. José Pablo Aguiar Moya

Ph. D. Luis Guillermo Loria Salazar

M. Sc. Ing, Ignacio Rodríguez Zúñiga

, por su tiempo y valiosa ayuda en el desarrollo de las entrevistas realizadas en esta investigación.

Luz Pamela Cabrejos Nieto

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, por haberme dado la oportunidad de terminar mi carrera profesional con éxito.

A mis padres por haberme inculcado en el camino correcto y por haberme dado los valores necesarios para formar mi vida de una manera adecuada y satisfactoria.

A mi hermana porque gracias a ella me dio el apoyo cuando más lo necesitaba en el transcurso de mi vida universitaria.

Al Ing. Germán Sagastegui Vásquez, por ser nuestro asesor y habernos orientado en cada proceso constructivo de esta investigación.

A los expertos en la materia estudiada,

Ph. D. José Pablo Aguiar Moya

Ph. D. Luis Guillermo Loria Salazar

M. Sc. Ing, Ignacio Rodríguez Zúñiga

, por su tiempo y valiosa ayuda en el desarrollo de las entrevistas realizadas en esta investigación.

Marco Miguel Junior Vigo Flores

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	4
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN.....	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	41
CAPÍTULO III. RESULTADOS	68
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	90
REFERENCIAS.....	97
ANEXOS.....	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	20
Tabla 2	21
Tabla 3	27
Tabla 4	34
Tabla 5	43
Tabla 6	44
Tabla 7	48
Tabla 8	49
Tabla 9	49
Tabla 10	50
Tabla 11	51
Tabla 12	52
Tabla 13	56
Tabla 14	61
Tabla 15	69
Tabla 16	70
Tabla 17	70
Tabla 18	71
Tabla 19	72
Tabla 20	73
Tabla 21	73

Tabla 22	74
Tabla 23	75
Tabla 24	76
Tabla 25	77
Tabla 26	79
Tabla 27	79
Tabla 28	80
Tabla 29	84
Tabla 30	87
Tabla 31	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Composición química del Tereftalato de polietileno	33
Figura 2 Diseño de investigación	41
Figura 3 Curva granulométrica del agregado grueso	68
Figura 4 Curva granulométrica del agregado fino.....	69
Figura 5 Relación Estabilidad % vs Cemento Asfáltico %	82
Figura 6 Relación de vacíos % vs Cemento Asfáltico %	83
Figura 7 Relación de Flujo (mm) vs Cemento Asfáltico%	83
Figura 8 Relación Estabilidad % vs PET%	85
Figura 9 Relación Porcentaje de vacíos vs PET %.....	86
Figura 10 Relación de Flujo (mm) vs PET %	86
Figura 11 Resumen Comparativo del Ensayo Marshall	89

RESUMEN

La presente investigación tuvo por objetivo determinar la influencia de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla asfáltica con tereftalato de polietileno (PET), se elaboró mediante un diseño experimental, de tipo aplicada, la técnica de muestreo utilizada fue no probabilístico por criterio, la técnica de recolección de datos se basó en la observación científica, así que el instrumento utilizado fue la hoja de ficha de datos. En este estudio se realizó el análisis y comparación de la mezcla asfáltica tradicional con una adicionada con PET, mediante pruebas de laboratorio, obteniendo como principales resultados que la mezcla óptima es con 60% de arena + 40% de grava +6% de cemento asfáltico + 1% de PET, para lo cual los valores del ensayo Marshall resultan 8.48 KN de estabilidad, 8.32 mm de flujo y 3.09 % de vacíos. Así mismo, también se presentaron limitaciones para el desarrollo de este proyecto, principalmente en la obtención de materiales y laboratorio en Trujillo para poder desarrollar los ensayos estipulados. De igual modo, la principal implicancia fue obtener los aumentos y reducciones porcentuales de las propiedades del ensayo Marshall. En conclusión, se logró mejorar las propiedades físico-mecánicas de una mezcla asfáltica adicionada con PET.

Palabras clave: Propiedades físicas-mecánicas, mezcla asfáltica, tereftalato de polietileno.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En la actualidad en nuestro país se tiene un gran problema de infraestructura vial, siendo un gran porcentaje de las pistas y carreteras del Perú que se encuentran en pésimo estado, esta problemática se caracteriza por una clara deficiencia en la calidad y resistencia de las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica, provocando diversas fallas en su infraestructura, que a la vez aumenta el descontento de nuestra población. Esto se da porque las pistas de nuestro país son de una mezcla asfáltica convencional, cuya composición granular hace que se desgaste muy rápido con el roce constante de los vehículos debido al alto y desordenado tránsito con el que contamos, y además de los cambios de temperatura, considerando que el país en el que habitamos cuenta con diversas condiciones climáticas distribuidas por las distintas zonas del Perú, estos factores producen que la mezcla asfáltica falle en sus diversas propiedades.

A nivel internacional la búsqueda por la mejora continua del pavimento es constante, y las técnicas para alcanzarla están en evolución. En Colombia nos dicen que los pavimentos flexibles están sometidos a deformaciones, desgaste, fatiga y una diversidad de características y patologías que afectan la carpeta de rodadura, producto de los cambios de temperatura y del tránsito, estos problemas mayormente se presentan sin haber cumplido su vida útil. Lo que se busca por medio de la mezcla asfáltica adicionada con tereftalato de polietileno (PET), es acertar si la cantidad proporcionada de este agregado es óptima para disminuir el deterioro temprano del pavimento e incluso llegar a aumentar su vida útil; ya que, al tener una mezcla más durable y

resistente, reducirá costos de reposición y mantenimiento. (Camacho, Gómez y López, 2019)

Por otro lado, en Guatemala se analiza la evaluación de las características físicas y propiedades mecánicas de un diseño de mezcla asfáltica con el método de Marshall, con granulometría tipo E, adicionando un porcentaje de agregado de tereftalato de polietileno (PET). Se evalúa la proporción a utilizar y se lleva a cabo un diseño de mezcla asfáltica convencional para ser comparado con el diseño de mezcla asfáltica, adicionando tereftalato de polietileno (PET), como agregado. (Ortiz, 2017)

De igual modo en Ecuador se busca dar un uso útil a la gran cantidad de desechos plásticos generados en dicho país, aprovechándolos como material constitutivo adicional de mezclas asfálticas en caliente que dan pie a los muy conocidos pavimentos flexibles o bituminosos, todo ello se desarrolla bajo la normativa y estándares del país en mención, para así determinar buenos resultados. De tal forma que se dé una comparación entre resultados, uno con la adición del plástico y la otra sin ella, determinando sus propiedades mecánicas y características físicas. (Romero, Huerta y Cazar, 2015)

En el Perú, actualmente se habla de que los problemas típicos de los pavimentos flexibles han hecho que introduzcan en nuestro mercado el uso de polímeros que modifican directamente a las mezclas asfálticas en su composición, dándoles mayor resistencia entre otras características, pero que sin duda traerá un aumento en los costos de los proyectos. Es por esto por lo que el uso de material reciclado como el tereftalato de polietileno (PET), se usará como un componente adicional de las mezclas

tradicionales para el pavimento flexible, siendo así más factible su implementación en la elaboración de los pavimentos ya que su costo se reducirá a comparación del uso de polímeros. (Romero, Bonifaz, Huertas y Cazar, 2014)

A nivel local, en Trujillo, la deformación permanente es una de las fallas más importantes e incidentes en el desarrollo de la vida útil de los pavimentos asfálticos; por lo que el estudio experimental investiga nuevas técnicas y metodología que permita mejorar la calidad de vida útil de un pavimento. En Trujillo, debido a su diversidad climática requiere de diseños de pavimentos y mezclas asfálticas con propiedades específicas para atender la necesidad. El conocimiento de las causas que originan la deformación permanente y de las condiciones climáticas, permitirá anticiparse a un deterioro prematuro de los pavimentos asfáltico, lo que incidirá en un ahorro económico. (Navarro, 2017)

Debido a todo lo anteriormente mencionado, en este proyecto se desea mejorar la calidad y resistencia de las propiedades físico-mecánicas, implementando el tereftalato de polietileno (PET) como material constitutivo de la mezcla asfáltica, este agregado no tiene un costo elevado y sería muy económico en el transcurso de un proyecto. La evaluación de las propiedades en general agregando tereftalato de polietileno como material constitutivo en el diseño de la mezcla asfáltica, es el punto principal para tomarse en cuenta, ya que se desea mejorar la calidad de estas características del asfalto, el cual presenta un verdadero problema en nuestro país debido a sus malos diseños y a la falta de un material innovador que logre mejorar su desempeño en las pistas y carreteras del Perú.

Elías (2017) concluye que la influencia de los desechos plásticos PET en un porcentaje de 3.0% tiende a un crecimiento en la resistencia a la deformación y en la flexibilidad tiende a una pequeña disminución, pero se encuentra dentro del requerimiento para ser un pavimento flexible. No obstante, ocurre lo contrario con el desecho plástico de tipo PEAD en los porcentajes que fueron sustituidos, como son en un 1.3% y 5%, la influencia que tiene es que convierte el pavimento en un pavimento rígido y se encuentra fuera de los parámetros que debe cumplir un pavimento flexible.

Berrío (2017) obtuvo un aumento de 37% en el módulo resiliente y una disminución de 42% en la velocidad de deformación plástica, para una mezcla que incorporó un 1,0% de PET en tamaños inferiores a 2,0 [mm]. Así, este desarrollo podría resultar una alternativa viable para la construcción de proyectos de infraestructura vial, además de tener un aporte significativo desde la sostenibilidad ambiental, ya que en la fórmula de trabajo seleccionada se estima que pueden ser utilizadas 73.000 botellas de PET por cada kilómetro de vía construida, lo que impactaría las políticas de disposición de residuos que se tienen en la actualidad.

Corbacho (2019) analizó las distintas dosificaciones de los materiales, para poder hallar la óptima, donde encontró que el porcentaje óptimo de asfalto de mezcla asfáltica modificada es 6.15% y de fibras PET es 1.2%, obteniendo una estabilidad de 856.3 kg y un flujo de 14.7 (0.25 mm), cumpliendo con los requerimientos de la norma MTC E-504 del Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013. Cabe indicar que la modificación de mezcla asfáltica al ser una sustitución parcial de agregado fino no varía el contenido óptimo de asfalto determinado para mezcla asfáltica convencional.

La adición del tereftalato de polietileno a la mezcla asfáltica en general dará una mejora a las propiedades físico-mecánicas de esta, lo cual nos dará una mayor durabilidad del material y tendrá menos fallas a lo largo de su vida útil, se ahorrará en costos de mantenimiento y reparaciones, con lo cual tendremos una reducción de costos a largo plazo.

En nuestro país aún no se desarrolla por completo y en gran envergadura el tema de una óptima construcción de carreteras, con todos los estándares que los reglamentos nacionales indican, ya que en repitentes ocasiones se ven las fallas clásicas de los pavimentos como agrietamientos, fisuras, deformaciones, entre otras, en las diferentes regiones del Perú, teniendo en cuenta la zona costera, sierra y selva, considerando que por el distinto clima que cada región del país posee, ya sea cálido, frío o templado, requiere de distintos materiales, procedimientos y diseños para su construcción; por ejemplo el cemento asfáltico que se necesita para una carretera en Trujillo, no será el mismo que para una pista en Puno, así mismo con el método constructivo que se desarrolla, puesto que en las zonas de lluvias fuertes se requieren de cunetas en las carreteras.

La presente tesis identifica como problema principal de la infraestructura vial, a la deficiencia existente en las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica, esta se da debido a dos factores en específico, el alto tránsito y la temperatura. Al hablar de un elevado tránsito, no sólo implica la cantidad de veces que pueda pasar por una vía un vehículo, sino también la cantidad de estos en un determinado tiempo, y sobre todo las distintas cargas que poseen. Por otro lado, la temperatura también influye con respecto a las distintas propiedades de una mezcla asfáltica, puesto que un país como

el Perú, cuenta con diversos estados climáticos en distintas regiones, y esto hace que en varias ocasiones ocurra un desgaste del pavimento.

Considerando además que para evitar que estos factores influyan negativamente en estas características de la mezcla asfáltica, se lleva a cabo un gran grupo previo de estudios que permiten prevenir estos problemas en las carreteras, sin embargo, en cuantiosas ocasiones las empresas, los constructores o laboratoristas que están a cargo del proyecto no cumplen con esto, bien sea en el correcto diseño de la ejecución de la vía o en la calidad y cantidad de los materiales utilizados.

Es así como, la presente tesis desarrolla un análisis de las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica con tereftalato de polietileno, el cual se llevará a cabo a través de búsqueda y selección de información, de fuentes confiables y fidedignas, teniendo en cuenta varios criterios de selección. Seguidamente, por medio de ensayos de laboratorio que nos permitan obtener datos reales, obteniendo una relación de esta en una mezcla asfáltica sin adición y otra con tereftalato de polietileno, haciendo la comparación respectiva de ambos casos.

Con este estudio se espera que los proyectos viales futuros, tengan en cuenta todo lo que en la presente investigación se analiza, de tal manera que se pueda tener vías que no se deterioren rápidamente, debido a un mal diseño o principalmente a deficientes materiales y calidad de trabajo.

Sin embargo, de no buscar, seleccionar, analizar, realizar e interpretar las distintas pruebas de laboratorio requeridas en esta investigación, las deficientes vías en el país

irían en aumento, y esto produjera mayores gastos económicos y retrasos socioculturales, turísticos y financieros. Dado que, vías con deficiencias, requieren mayores y constantes mantenimientos (en mayor cantidad de lo normal), generando gastos no contemplados y retrasando el avance del país.

Antecedentes de la investigación

Berrío (2017) en esta investigación tiene por objetivo analizar las mezclas asfálticas con adición de PET a partir de la determinación de sus parámetros volumétricos, la prueba de estabilidad, flujo y la de porcentaje de vacíos, así como los ensayos de módulo resiliente y deformación plástica. Como resultados se registra un aumento de 37% en el módulo resiliente y una disminución de 42% en la velocidad de deformación plástica, para una mezcla que incorporó un 1,0% de PET en tamaños inferiores a 2,0 [mm].

Esta investigación aporta una alternativa viable para la construcción de proyectos de infraestructura vial, ya que se evidencian resultados positivos en cuanto a las propiedades de la mezcla asfáltica.

Aimacaña (2017) plantea que la idea de utilizar para crear mezclas asfálticas surge de la afinidad de ambos materiales, los plásticos reciclados y el asfalto proveniente de los derivados del petróleo. Lo que se pretende es aprovechar un residuo que como mínimo, no modifique las propiedades físicas – mecánicas de la mezcla asfáltica, pero si las modifica, tendrá que mejorarlas. Estas mezclas asfálticas modificadas con residuos plásticos, además de aportar beneficios ambientales, presentan mejores características

técnicas que las tradicionales y son más duraderas, lo que permite minimizar las operaciones de un mantenimiento vial.

Es así como, esta investigación aporta una alternativa de mejora para los proyectos de construcción vial a corto y largo plazo, no sólo en la calidad de la construcción, que es muy importante para la vida útil de un pavimento, sino también en una reducción de gastos, lo cual representa un factor significativo en cada etapa de la construcción.

Benavides (2014) señala que el aumento de las cargas por eje, la modernización del parque automotriz, el incremento de los costos de los productos derivados del petróleo, los materiales empleados para la construcción de pavimentos y las políticas de infraestructura sostenible y medio ambiente, ha hecho desarrollar técnicas orientadas a mejorar, reciclar y sofisticar los sistemas de metodología actuales para el diseño de pavimentos del mundo.

Esta investigación proporciona un aporte de calidad basándose en una cultura sostenible, dado que ello representa el gran objetivo actual, que todos los sectores, especialmente del rubro de la construcción, están obligados a cumplir, es así como de esa manera este estudio logra enfocar todos los aspectos de la infraestructura vial con el cuidado del medio ambiente,

Romero, Bonifaz, Huertas y Cazar (2014) tiene por finalidad brindar una mayor resistencia a las mezclas asfálticas, introduciendo en su composición el uso de los polímeros, ya que representa una solución para los problemas típicos de los pavimentos flexibles a nivel nacional, considerando además que ello traerá un aumento

de costos en su construcción. Sin embargo, encuentra una mejora en la resistencia del pavimento, haciendo así factible el hecho de adicionar PET a las mezclas asfálticas, teniendo en cuenta que los costos pueden aumentar en su construcción, pero disminuir a largo plazo, pues los mantenimientos se reducen al presentarse menos fallas en los pavimentos.

Este estudio brinda un aporte de una alternativa de solución para los deficiencias constantes y conocidas de los pavimentos tradicionales, la cual se encuentra en la adición de plástico reciclado a la mezcla asfáltica convencional, convirtiéndose esta en una ventaja muy amplia para las construcciones viales y el medio ambiente.

Castillo y Chávarri (2020) tuvieron como objetivo analizar los asfaltos modificados y luego realizar una comparación técnica de sus propiedades que lo conforman frente a un asfalto convencional, evaluando y comparando el factor técnico en laboratorio; encontrando una evidente mejora en las propiedades de la mezcla asfáltica modificada, obteniendo una mayor resistencia y menos vacíos y deformación, en comparación de la mezcla tradicional. Sostienen además que, a raíz del tiempo se han ido desarrollando e innovando con productos nuevo y a la vez usados para adicionar a las mezclas asfálticas, buscando mejorar sus propiedades para darle una mayor vida útil al pavimento.

Es así como este análisis, aporta a través de permitir observar el comportamiento de las propiedades mecánicas y físicas del asfalto, las cuales influyen notoriamente en la calidad y duración de los pavimentos, es por eso por lo que es primordial estudiar cómo

predomina en las propiedades, la adición del plástico. Para así evaluar los aspectos positivos y negativos y determinar su viabilidad.

Navarro (2017) afirma que las propiedades mecánicas del pavimento que, por su mal estudio, suele tener fallas importantes e incidentes en el desarrollo de la vida útil de los pavimentos asfálticos; por lo que su estudio experimental propuso como objetivo primordial investigar nuevas técnicas y metodología que permita mejorar la calidad de vida útil de un pavimento, es así como encontró en los polímeros una alternativa para lograr su propósito, puesto que las propiedades que estos poseen, contribuyen a la mezcla asfáltica, logrando la mejora de las propiedades de esta a través del uso de PET en su composición.

Este estudio aporta desde el punto de vista que permite identificar aspectos que logren mitigar las deformaciones constantes y repetidas del pavimento, a través de la adición de PET, de manera que se pueda garantizar una mayor vida útil para este.

Bases teóricas

Agregados gruesos y finos

Según el Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013, los agregados finos y gruesos para un pavimento flexible en caliente debe cumplir los siguientes requerimientos:

Tabla 1

Requerimientos para agregados gruesos

ENSAYO	NORMA	REQUERIMIENTO
---------------	--------------	----------------------

		Altitud (msnm)
		≤ 3000
Durabilidad (al sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.
Abrasión de Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.
Absorción	MTC E 206	1 % máx.
Adherencia	MTC E 517	+95

Nota: Esta tabla muestra los distintos requerimientos para los ensayos del agregado grueso.

Fuente: Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013

Tabla 2

Requerimientos para agregados finos

ENSAYO	NORMA	REQUERIMIENTO
		Altitud (msnm)
		≤ 3000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60 mín.
Absorción	MTC E 205	0.5 % máx.
Durabilidad (al sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-

Nota: Esta tabla muestra los distintos requerimientos para los ensayos del agregado fino.

Fuente: Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013

Ensayos

A. De los agregados gruesos y finos:

Durabilidad al sulfato de Magnesio (MTC E 209):

En base al Manual de Ensayo de Materiales (2016), el ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio tiene por objetivo determinar la resistencia de los agregados a la desintegración por medio de la solución saturada de sulfato de magnesio.

B. De los agregados gruesos:

Abrasión de Los Ángeles (MTC E 207):

Según el Manual de Ensayo de Materiales (2016), este ensayo tiene por objeto determinar la resistencia a la degradación utilizando la Máquina de Los Ángeles, en una combinación de acciones, las cuales son abrasión, desgaste, impacto y trituración.

Absorción (MTC E 206):

El ensayo de absorción tiene por finalidad determinar el porcentaje de esta junto al peso específico. (Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

Adherencia (MTC E 517)

Según el Manual de Ensayo de Materiales (2016), el ensayo revestimiento y desprendimiento de mezclas agregado – bitumen, más conocido como adherencia, tiene por objetivo determinar la retención de una película bituminosa en una superficie de agregado en presencia de agua.

C. De los agregados finos:

Equivalente de arena (MTC E 114)

Según el Manual de Ensayo de Materiales (2016), este ensayo tiene como objetivo indicar bajo condiciones estándar, las proporciones relativas de suelos arcillosos o

fino plásticos y polvo en suelos granulares y agregados finos que pasan el tamiz N° 4 (4.75 mm). Asimismo, asegura que el término “equivalente de arena”, refiere al concepto de que la mayor parte de los suelos granulares y agregados finos son mezclas de partículas gruesas deseables, arena y generalmente arcillas o finos plásticos y polvo, indeseables.

Absorción (MTC E 205)

El ensayo de absorción de los agregados finos brinda valores que son usados para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida entre los espacios de los poros entre las partículas constituyentes, comparado a la condición seca, cuando es estimado que el agregado ha estado en contacto con el agua lo suficiente para satisfacer la mayor absorción potencial. (Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

D. De las mezclas bituminosas:

Ensayo Marshall (MTC E 504)

Según el Manual de Ensayo de Materiales (2016), el ensayo de la resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall tiene por objeto determinar a partir de la preparación y compactación de especímenes de mezcla bituminosa para pavimentación, el diseño de una mezcla asfáltica y calcular sus diferentes parámetros de comportamiento, medio del método manual Marshall. De este procedimiento se obtienen diferentes ensayos físicos como: estabilidad, flujo, densidad y vacíos.

Porcentaje de vacíos de aire (MTC E 505)

Este ensayo tiene por objetivo determinar el porcentaje de vacíos en mezclas bituminosas compactadas densas y abiertas. Este es uno de los criterios tanto en métodos de diseño, como en la evaluación de la compactación alcanzada en proyectos de pavimentos asfálticos. (Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

Mezcla Asfáltica:

Luque (2019), afirma que las mezclas asfálticas es la combinación de un ligante bituminoso, generalmente un derivado del petróleo, agregados minerales pétreos y filler. Tiene la función de proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica, además las mezclas asfálticas transmiten las cargas de tránsito a las capas inferiores del pavimento. Por consiguiente, debido a su buen comportamiento como impermeabilizante son utilizadas en carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros.

Según Berrío (2017), las mezclas asfálticas se clasifican principalmente en:

- Caliente.
- Semi – caliente.
- Tibia.
- En frío.
- Preparadas especialmente para una vía determinada.

Así mismo, en las mezclas asfálticas, la fricción de partículas del agregado, la viscosidad del asfalto y la adhesión del ligante con agregado, son derivadas por la fricción. (Berrío, 2017)

Por otro lado, Luque (2019), presenta una extensa clasificación de las mezclas asfálticas:

1. Por fracciones de agregado pétreo en la mezcla:
 - Masilla asfáltica: combinación de polvo mineral (filler) y ligante asfáltico.
 - Mortero asfáltico: mezcla de agregado fino, filler y ligante asfáltico.
 - Concreto asfáltico: combinación de filler, agregado fino, agregado grueso y ligante asfáltico.
 - Macadam asfáltico: mezcla del agregado grueso y ligante asfáltico.

2. Por la temperatura puesta en obra:
 - Mezclas asfálticas en caliente: mezcla de agregados uniformemente recubiertos por cemento asfáltico. Se fabrican con ligantes asfálticos a temperaturas elevadas, superiores a los 150 ° C, según la viscosidad del ligante, de la misma manera también se calientan los agregados. Para evitar que el asfalto se enfríe al entrar en contacto con ellos. Puesta en obra a temperatura muy elevada.
 - Mezclas asfálticas en frío: tiene como ligante asfáltico a la emulsión asfáltica y su puesta en obra es a temperatura ambiente.

3. Por la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica:
 - Mezclas cerradas o densas: destinadas para la construcción de pavimentos asfálticos de alto tránsito, debido a su excelente durabilidad. Su proporción de vacíos no supera el 6%.

- Mezclas semicerradas: caracterizada por su bajo contenido de asfalto. Su proporción de vacíos está entre 6 y 12 %.
 - Mezclas abiertas: poseen agregados de gradación pobre o abierta. Su proporción de vacíos supera el 12 %.
 - Mezclas porosas: utilizadas principalmente como drenes, los cuales ayudan a evacuar el agua superficial de la calzada hacia zonas laterales fuera de ella. Su proporción de vacíos supera el 20%.
4. Por la estructura del agregado pétreo:
- Mezclas con esqueleto mineral: su componente de resistencia es debido al rozamiento interno de los agregados.
 - Mezcla sin esqueleto mineral: no poseen resistencia.

Propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica

Bastidas y Ramírez (2019) consideran como las principales propiedades de la mezcla asfáltica, las siguientes:

- **Estabilidad:** esta propiedad la define como la capacidad de asumir los esfuerzos de desplazamiento y la deformación a causa de las cargas de tránsito, establece que la mezcla será más estable cuando partículas utilizadas sean más angulares y la superficie presente mayor grado de aspereza.
- **Durabilidad:** este se encuentra ligado a la gradación y el contenido del asfalto puesto que una mezcla densa posee un mejor contacto entre sus partículas, adicionándole firmeza, durabilidad y resistencia a la segregación.
- **Flexibilidad:** afirma que es la capacidad de la mezcla para soportar el agrietamiento y asentamiento debido a las cargas a las cuales son sometidas.

Ensayo Marshall:

Según el Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013, indica que las características obtenidas del ensayo Marshall deben cumplir los siguientes requerimientos:

Tabla 3

Requisitos para la mezcla de concreto bituminoso

Parámetros de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8.15 KN	5.44 KN	4.53 KN
3. Flujo 0,01" (0.25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5

Fuente: Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013

El objetivo de los ensayos Marshall es determinar el contenido óptimo cemento asfáltico para un determinado tipo de mezcla asfáltica, en donde se indican los intervalos permisibles de las propiedades fundamentales para cada tipo de mezcla asfáltica en caliente como lo son: la Densidad, la Estabilidad, la Deformación y el Contenido de Vacíos en la Mezcla.

El criterio elegido para obtener el contenido óptimo de cemento asfáltico de la mezcla se basa fundamentalmente en su contenido de vacíos, ya que su cantidad, afecta directamente el comportamiento de un pavimento ante las deformaciones plásticas permanentes. (Padilla, 2014).

a) Ensayos de estabilidad y flujo:

Según, Puente (2020), este ensayo conduce a medir la resistencia a la deformación bajo cargas en esta.

b) Valor de estabilidad Marshall:

Según, Puente (2020), nos dice que el valor de la estabilidad es la medida de una carga donde cede o falla totalmente, durante el ensayo la carga es aplicada lentamente aumentando la presión hasta obtener la carga máxima que es determinada por el medidor estableciendo la estabilidad Marshall. Es así como, si un valor de estabilidad es bueno, por lo tanto, con un valor más alto se tendrá mejores resultados.

c) Valor de fluencia Marshall:

Según, Puente (2020), el flujo Marshall indica la deformación de la mezcla y se indicada por la disminución del diámetro vertical del espécimen. Las mezclas asfálticas tienden a tener valores bajos de flujo y valores muy altos de estabilidad por ello son considerados como demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Entonces, si se tienen valores altos de flujo son consideradas suficientemente plásticas y tienden a deformarse fácilmente bajo las cargas del transporte.

d) Análisis de densidad y vacíos:

Según, Puente (2020), luego de los ensayos de estabilidad y flujo, se prosigue a efectuar el análisis de densidad y vacíos con el propósito de determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada, los vacíos son las pequeñas bolsas de aire que se encuentran entre las partículas de agregado revestidas de asfalto y se calcula a partir del peso específico total de cada probeta compactada y del peso específico teórico de la mezcla de pavimentación (sin vacíos) debiéndose determinar la gravedad específica teórica máxima.

Componentes de una mezcla asfáltica:

Según Luque (2019), una mezcla asfáltica típica para pavimento, la conforman un aglutinante de asfalto de 4 a 7%, y el porcentaje restante los agregados minerales y filler. En esta composición el asfalto trabaja como ligante o cementante e impermeabilizante. Los agregados son materiales granulares generalmente obtenidos del proceso de trituración de rocas, teniendo en cuenta siempre su naturaleza y calidad, con el fin de preservar el rendimiento del pavimento a largo plazo.

Ligante asfáltico

El ligante asfáltico este es un material viscoelástico, cuyo comportamiento depende de la razón de carga y la temperatura, es un factor clave en el desempeño de las mezclas asfálticas en caliente (MAC). Se requiere que la mezcla asfáltica en caliente sea lo suficientemente flexible a temperaturas bajas de servicio para prevenir agrietamiento y lo suficientemente rígida a temperaturas altas para prevenir la deformación permanente. (Unidad de Materiales y Pavimentos, 2013)

Asfalto:

El asfalto también conocido como bitumen. Es un mineral resultante de diversos componentes, casi todos naturales. Posee numerosas propiedades que permiten la elaboración de muchos productos utilizados en la construcción de vías terrestres para automóviles y peatones.

Se mezcla con gravilla o arena para pavimentar las vialidades, además de emplearse para revestir e impermeabilizar techos, muros y conductos. Entre los tipos de vialidades en las cuales se emplea el asfalto, destacan: vías rápidas, vialidades primarias, vialidades secundarias, calles locales y callejones. (Navarro, 2017)

Berrío (2017), habla de la viscosidad del asfalto y afirma que esta varía de acuerdo con la temperatura y que es modificable por medio del calentamiento. Es así como recomienda que, para mezclas en lugares con clima muy cálido, la viscosidad del asfalto también debe ser alta. Además, manifiesta que el envejecimiento del asfalto se da mediante transformaciones químicas, las cuales son causadas por las aguas ácidas, la radiación solar, sulfatos, lubricantes, grasas y combustibles.

Mezclas asfálticas modificadas

Según Luque (2019), existen tres métodos principales para la modificación de una mezcla asfáltica, lo cual se da mediante la incorporación de diferentes residuos sólidos. Para los tres casos se trabajará con PET como residuo sólido agregado.

1. Método del proceso húmedo: el PET se mezcla completamente con el cemento asfáltico, formando una mezcla homogénea en un principio, para

luego agregarle el agregado. No se produce una mezcla homogénea debido al alto punto de fusión del PET.

2. Método del proceso seco: en un inicio se mezcla el agregado con el cemento asfáltico, se espera que se adhieran adecuadamente, seguidamente se agrega el PET. Este método es optado por la mayoría de los estudios y proyectos realizados.
3. Método de sustitución del agregado: una porción del agregado grueso o fino es reemplazado con partículas PET de tamaño similar.

Asfalto modificado

Unidad de Materiales y Pavimentos (2013), asegura que la importancia radica en la compatibilidad entre el asfalto y el polímero, ya que dicha compatibilidad disminuye al aumentar la viscosidad del asfalto, es por eso por lo que los asfaltos modificados parten de un asfalto suave y añaden polímeros para aumentar la rigidez a temperaturas altas. Los asfaltos convencionales no poseen características necesarias para lograr el desempeño deseado, especialmente si el rango de temperaturas de servicio es amplio. Es por ello por lo que se opta por un asfalto modificado con polímeros, con el objetivo de mejorar el desempeño de las mezclas asfálticas. Esto se debe a los siguientes factores principalmente:

- Incremento de la demanda de los pavimentos de mezcla asfáltica en caliente (MAC): esto es debido al incremento del volumen del tráfico y las cargas provocadas por ello, lo que provoca fallas por deformación permanente (ahuellamiento) y fatiga.
- Especificaciones en el asfalto por la metodología Superpave: esto es necesario para las regiones climáticas extremas, ya que las especificaciones para el

ligante asfáltico en Superpave requiere que el asfalto cumpla con ciertos requisitos de rigidez a bajas y altas temperaturas, y ello no sería posible, si es que no se modifica el asfalto.

- Aspectos ambientales y económicos: se reciclan los productos de desecho industrial como llantas, vidrio, plástico, ceniza, etc., de manera que se obtiene un beneficio de ello y estos son utilizados como aditivos en el asfalto, contribuyendo con el medio ambiente, la economía, y la mejora de rendimiento de las carreteras.
- Prolongar la vida útil de los pavimentos y reducir su mantenimiento: en el aspecto económico al principio se genera incremento, ya que un asfalto modificado requiere mayores gastos que uno convencional, pero a largo plazo los costos de mantenimiento se reducen, ya que alarga la vida útil de los pavimentos.

Unidad de Materiales y Pavimentos (2013), afirma que el asfalto deberá ser modificado para lograr distintas e importantes mejoras como:

- Menor rigidez (o viscosidad) a temperaturas altas asociadas con el proceso de producción. Ello facilita el bombeo del asfalto, así como el mezclado y compactación de la mezcla asfáltica en caliente.
- Mayor rigidez (o viscosidad) a temperaturas de servicio. Esto aumentará la resistencia al ahuellamiento o a la deformación permanente.
- Menor rigidez y propiedades de recuperación más rápidas a temperaturas de servicio bajas. Esto incrementará la resistencia al agrietamiento por fatiga.
- Aumentar la adherencia entre el ligante asfáltico y el agregado en presencia de humedad. Esto reducirá el desnudamiento.

Tereftalato de Polietileno (PET):

El tereftalato de polietileno es un tipo de plástico que es muy usado en envases de bebidas y textiles, este se obtiene de a partir del etileno y el paraxileno. Puede ser transformado mediante procesos de extrusión, inyección, inyección-soplado y termoformado.

Es un material lineal, con una gran transparencia y dureza, muy resistente, tanto al desgaste y a los productos químicos, como al impacto, a la rotura y al fuego.

Además, hay que sumarle que es totalmente reciclable y respetuoso con el medio ambiente. A la par que genera poco humo no tóxico y no emite sustancias tóxicas que contaminen en los vertederos, actúa como barrera contra los gases. (Hernández y Morales, 2013)

Puente (2020), afirma que químicamente el Tereftalato de Polietileno es un polímero obtenido mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Cuya fórmula es $C_{10}H_8O_4$, y cuenta con la siguiente estructura molecular:

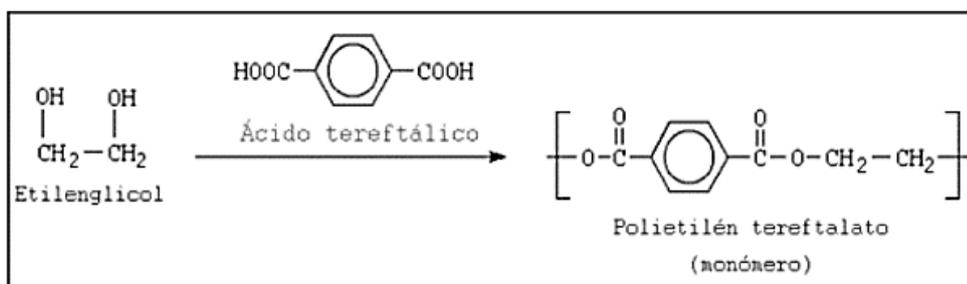


Figura 1 Composición química del Tereftalato de polietileno

Berrío (2017), define al tereftalato de polietileno como polioxitereftaloila de oxietileno, lo cual lo explica como un polímero termoplástico, proveniente de los

poliésteres, quienes presentan características tales como su estructura alifática, semi cristalina y aromática. Así mismo afirma que su proceso productivo, se divide en 3 partes, químicamente hablando:

- Pre-polimerización: Fabricación de un pre – polímero (Oligómero Tereftalato de Bis).
- Policondensación: Producción del PET mediante el calentamiento global.
- Polimerización en estado sólido: Modelación del producto, a través de su estancia en un alto grado de cristalina.

Luque (2019), define al PET como un polímero extremadamente duro, dimensionalmente estable, lineal. Con alto grado de cristalinidad y termoplástico en su comportamiento, por lo cual es apto para ser transformado mediante procesos de extrusión, inyección, inyección-soplado y termoformado.

Según Berrío (2017), la historia del Tereftalato de Polietileno se da de la siguiente forma:

Tabla 4

Historia del tereftalato de polietileno

HISTORIA DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO	
Año	Hecho
1941	Entrada del PET al mercado industrial, por John Rex Whinfield y James Tennant Dixon.
1970	Fabricación de primeras botellas de PET, en EE. UU y Europa.

1989	Utilización de PET en la industria textil, Colombia
1992	Utilización de PET como empaques.

Actualidad	Producción de PET mundial: 30 millones Tn * año.
-------------------	---

Nota: Esta tabla muestra el avance del Tereftalato de Polietileno, a lo largo de los años.

Puente (2020), establece que las propiedades y características más significativas del PET, son las siguientes:

- Alta resistencia al desgaste y corrosión.
- Aceptable coeficiente de deslizamiento.
- Alta rigidez y dureza.
- Alta resistencia a esfuerzos permanente.
- Resistencia química y térmica.
- Alta resistencia al plegado.
- Totalmente reciclable.
- Superficie barnizable.
- Baja absorción a la humedad.

Las dimensiones del PET triturado serán menores de 10 mm con la finalidad de que puedan ser manejables en los ensayos de la mezcla asfáltica. No obstante, se hacen ensayos granulométricos para poder utilizar las partículas retenidas en la maya N°200 para agregarlos a los agregados finos, a los cuales se les hará también su respectivo ensayo. (Bastidas y Ramírez, 2019)

Pavimentos Flexibles:

Se llama pavimento flexible a aquellos cuya estructura se defleca o flexiona dependiendo de las cargas de tránsito que pasen sobre él. El uso del pavimento flexible se utiliza fundamentalmente en zonas de abundante tráfico como pueden ser en vías, aceras o parkings.

Estos pavimentos flexibles tienen ciertas características principales que debe cumplir y son las siguientes: Resistencia Estructural, Deformabilidad, Durabilidad, Requerimientos de Conservación y Comodidad Composición de los pavimentos flexibles. (Rattia, 2014)

Para Berrío (2017), el pavimento flexible se define como la composición de capas granulares robustas con una mezcla asfáltica, compuesta de ligantes asfálticos, la cual cambia de acuerdo con las condiciones del proyecto determinado.

Ciclo de vida de un pavimento:

Los pavimentos sufren un proceso de deterioro permanente debido a los diferentes agentes que actúan sobre ellos, tales como: el agua, el tráfico, la gravedad en taludes, etc. Estos elementos afectan al pavimento, en mayor o menor medida, pero su acción es permanente y termina deteriorándolo a tal punto que lo puede convertir en intransitable.

Durante un cierto número de años, el pavimento va experimentando un proceso de desgaste y debilitamiento lento, principalmente en la superficie de rodadura. Este desgaste se produce en proporción al número de vehículos livianos y pesados que

circulan por él, aunque también por la influencia del clima, del agua de las lluvias o aguas superficiales y otros factores. (Méndez, 2013).

Según Berrío (2017), la vida útil de los pavimentos flexibles debe ser preservada, puesto que estos representan un notorio aporte para la economía del país y las deficiencias de estos disminuyen la calidad del pavimento; es así que si estas anomalías son detectadas en un principio se debe realizar acciones para corregir, de tal manera que la vía no se vea afectada en las siguientes fases del proyecto y sobre todo para toda su vida útil.

Causas que originan las fallas:

a) Solicitaciones de carga de un pavimento:

El tránsito tiene una gran influencia en la aplicación de las cargas en un pavimento y su caracterización es bastante compleja debido no solo a la variabilidad de los distintos vehículos existentes, sino también a las interacciones vehículo-pavimento que producen fenómenos con solicitaciones adicionales a las propias cargas estáticas del tránsito. (Huamán, 2011).

Para caracterizar las solicitaciones producidas por el tránsito a un pavimento se pueden estudiar independientemente los siguientes aspectos:

- Magnitud de las cargas según la composición del tránsito (carga por eje, número de ejes que circulan, y número de repeticiones de carga).
- Forma geométrica de cada solicitud sobre el pavimento (área de contacto y reparto de presiones sobre la misma).
- Velocidad de los vehículos y tiempo de solicitud en un punto.

- Estados de esfuerzos que producen las cargas, en función de su magnitud y tipología (verticales, tangenciales, fenómenos de impacto, etc).

b) Naturaleza cíclica de las causas que actúan en un pavimento:

Normalmente el diseño, análisis y evaluación estructural de las condiciones de los pavimentos se basan en la teoría Profundidad (ln) Tiempo de pulsación equivalente(seg) 20 elástica multicapas; este acercamiento ofrece la posibilidad de una solución racional al problema.

El éxito de esta aproximación depende de la precisión y la manera en que se emplean las propiedades de los materiales.

Últimamente se han cambiado los procedimientos de diseño de los pavimentos y se ha pasado de los métodos empíricos a los métodos mecanicistas, basados en el acercamiento más racional durante su diseño. (Huamán 2011).

c) Estados de esfuerzos que producen las cargas en función de su magnitud y tipología:

Los neumáticos de los vehículos se apoyan sobre el pavimento produciendo una huella de forma distinta para cada tipo de neumático, presión de inflado, carga por rueda, velocidad y estado de la superficie.

Cuando está en movimiento, además de variar la forma de la huella, aparecen solicitaciones distintas a las verticales, que son las que existen cuando el vehículo está detenido o con movimiento uniforme: aparecen esfuerzos horizontales debido

al rozamiento y a los cambios de trayectoria, succiones de agua contenida en la sección estructural y esfuerzos verticales de impacto por efectos del movimiento del vehículo y las irregularidades de la carretera. (Huamán, 2011).

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la influencia del tereftalato de polietileno en las propiedades físicas – mecánicas de la mezcla asfáltica?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la influencia del tereftalato de polietileno en las propiedades físicas-mecánicas de una mezcla asfáltica.

1.3.2. Objetivos específicos

O.E.1: Efectuar la caracterización de los agregados.

O.E.2: Obtener el óptimo contenido de asfalto para una mezcla asfáltica mediante el ensayo Marshall.

O.E.3: Obtener el porcentaje ideal de tereftalato de polietileno en base al óptimo contenido de asfalto.

O.E.4: Realizar una comparación de las propiedades físico-mecánicas de una mezcla asfáltica sin adición y una con tereftalato de polietileno.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La influencia del tereftalato de polietileno mejorará eficientemente en las propiedades físicas – mecánicas de una mezcla asfáltica.

1.4.2. Hipótesis específicas

H.E.1: La caracterización de agregados estará dentro de los rangos permitidos por las normas estipuladas.

H.E.2: El óptimo contenido de asfalto obtenido del ensayo Marshall está dentro de los rangos 5% - 7.5%.

H.E.3: El porcentaje ideal de tereftalato de polietileno para la mezcla asfáltica, está dentro de los rangos de 0.5% – 1.5%.

H.E.4: La comparación de la mezcla asfáltica con adición de tereftalato de polietileno dará mejores resultados en el desempeño de sus propiedades físicas - mecánicas que una mezcla asfáltica convencional.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

2.1.1. Por el propósito

La presente investigación es aplicada, debido a que se aplican técnicas complejas como la recolección de datos para aportar un avance científico en la elaboración del tema estudiado. Por lo cual en esta investigación se pretende mejorar las propiedades físicas – mecánicas de una mezcla asfáltica adicionándole el tereftalato de polietileno.

2.1.2. Según el diseño de investigación

La presente investigación según el diseño es de tipo Experimental, ya que se realizarán ensayos experimentales manipulando la variable independiente “tereftalato de polietileno” para analizar las consecuencias sobre la variable dependiente “propiedades físico – mecánicas de una mezcla asfáltica” el cual, estas tendrán una mejora significativa. Se considerarán porcentajes de tereftalato de polietileno para proponer la mejora de las propiedades físicas – mecánicas de la mezcla asfáltica.

2.1.3. Diseño de investigación según el nivel

El diseño es cuasi - experimental, ya que, al ser una investigación experimental, los grupos de estudio no se asignan aleatoriamente, si no que estos ya están designados previamente al desarrollo del experimento (el efecto de las variables independientes sobre las variables dependientes).



Figura 2 Diseño de investigación

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población

La investigación tiene como población:

Propiedades físicas - mecánicas de los pavimentos flexibles de la provincia de Trujillo.

2.2.2. Muestra

En esta investigación el tipo de muestra que tendremos es “No probabilístico por juicio”, ya que la cantidad de especímenes a utilizar serán en base a conocimientos previos, por lo tanto, ya se tendrá una muestra definida.

La investigación tiene como muestra:

Las muestras para los ensayos serán de 3 especímenes para una mezcla asfáltica con 40% de piedra y 60% de arena y 3 especímenes para una mezcla asfáltica con 60% de piedra y 40% de arena, siendo los porcentajes de cemento asfáltico que se añadirán de 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7% y 7.5%, también se ensayarán 3 especímenes utilizando 0.5%, 1% y 1.5% de tereftalato de polietileno (PET) con el contenido de asfalto más óptimo encontrado en los ensayos, dando un total de 45 especímenes.

2.3. Variables

2.3.1. Variable independiente

La variable independiente de esta investigación es el “tereftalato de polietileno”, ya que esta no depende de otra variable para poder ser analizada en los ensayos de laboratorio.

2.3.2. Variable dependiente

La variable dependiente de esta investigación son las “propiedades físicas – mecánicas de una mezcla asfáltica”, ya que esta depende de la variable independiente para poder así ser analizada en los ensayos de laboratorio.

2.4. Operacionalización de variables

Tabla 5

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems
V.I. Tereftalato de Polietileno	El Tereftalato de Polietileno, conocido como PET, es un polímero termoplástico que tiene una estructura alifática, semi-cristalina y hace parte de la familia de los poliésteres. (Basurto 2016)	El tereftalato de polietileno (PET) es un tipo de plástico usado frecuentemente en las botellas de agua, gaseosas, etc. Estos plásticos se pasan por un proceso de triturado el cual se empleará posteriormente para los ensayos en laboratorio.	<ul style="list-style-type: none"> Tereftalato de polietileno o reciclado 	<ul style="list-style-type: none"> Porcentaje del tereftalato de polietileno. 	<ul style="list-style-type: none"> Características del tereftalato de polietileno para agregarse a la mezcla asfáltica. Porcentajes de tereftalato de polietileno para agregar a la mezcla asfáltica.
V.D. Propiedades Físicas – Mecánicas de una Mezcla Asfáltica	Una mezcla asfáltica consiste básicamente en la selección del tipo de agregado a emplear, y de la selección del tipo y contenido de asfalto para que las propiedades físicas – mecánicas hagan que la mezcla asfáltica sea duradera.	La mezcla asfáltica posee propiedades físicas – mecánicas las cuales hacen que dicho material sea duradero a las acciones del medio donde está expuesto.	<ul style="list-style-type: none"> Propiedades físicas – mecánicas. 	<ul style="list-style-type: none"> Estabilidad (KN). Flujo (mm). Porcentaje de vacíos (%). 	<ul style="list-style-type: none"> Asfalto tradicional. Asfalto modificado.

2.5. Materiales

2.5.1. Agregado grueso

Procedió de la trituración de la grava, de los cuales sus fragmentos fueron limpios resistentes y durables. No contó con polvo, tierra, terrones de arcilla u otra sustancia que impida que el cemento asfáltico se adhiera al agregado pétreo. Se denominó agregado grueso a la porción retenida en el tamiz de 4.75 mm (N.º4).

Este material lo obtuvimos de la cantera “Sulca” en el Milagro, de donde se extrajo 40 kg del material en un saco de polipropileno.

2.5.2. Agregado fino

Los fragmentos del agregado fino fueron duros y de superficie rugosa, este material se mantuvo libre de cualquier sustancia que impidiera que el cemento asfáltico se adhiera al agregado. Se denomina agregado fino a las porciones retenidas entre los tamices de 4.75 mm y 75 μm (N.º4 y N.º200).

Este material lo obtuvimos de la cantera “Sulca” en el Milagro, de donde se extrajo 40 kg del material en un saco de polipropileno.

2.5.3. Cemento asfáltico

El cemento asfáltico que se utilizó en la elaboración de la mezcla asfáltica se clasificó por viscosidad absoluta y por penetración, el empleo de este material será según el clima de la región a implementarse, tal como se indica en la siguiente tabla del manual de carreteras:

Tabla 6

Selección de tipo de C.A

Temperatura Media Anual

24°C o mas	24°C - 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
------------	-------------	------------	--------------

40 - 50 o 60 -		85 - 100 o 120	Asfalto
70 o	60-70	- 150	Modificado
Modificado			

Nota: Obtenido “Especificaciones técnicas generales para la construcción EG – 2013”

De acuerdo con la tabla se usó un cemento asfáltico 60/70, ya que en la ciudad de Trujillo la temperatura promedio va entre los 24°C-15°C, por lo cual se empleó de ese tipo para desarrollar los ensayos en laboratorio.

2.5.4. Tereftalato de polietileno

El tereftalato de polietileno (PET), es un tipo de plástico utilizado frecuentemente en botellas de gaseosas, agua, refrescos, etc. El cual estamos utilizando en esta investigación para poder darle un uso extra al agregarlo a una mezcla asfáltica y así poder brindarle una mejora en sus propiedades físicas – mecánicas, además de también hacer un reciclaje de este plástico y así ayudar en el medio ambiente y hacer que la mezcla asfáltica sea ecológica.

2.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos de esta investigación se realizó en base a un diseño experimental, donde se comparó una mezcla asfáltica con incorporación de tereftalato de polietileno con otra convencional, para obtener una comparación entre sus propiedades físicas – mecánicas.

2.6.1. Técnicas para la recolección de datos

La técnica de recolección de datos fue mediante la observación, con lo cual, los procedimientos que se emplearon para la toma de datos corresponden a ensayos de laboratorio, y fueron de manera sistemática y confiable, ya que permitió procesarlas para el análisis del problema que se estudió, donde se evaluó la influencia del tereftalato de polietileno en las propiedades físicas – mecánicas de una mezcla asfáltica.

2.6.2. Instrumentos para la recolección de datos

La presente investigación tuvo como instrumento para la recolección de datos la “Hoja de ficha de datos”, de esta manera se obtuvo validez y confiabilidad que se plasmó en los resultados obtenidos de los ensayos realizados en laboratorio.

Los instrumentos por utilizarse para la elaboración de la granulometría fueron:

- Balanzas: para los ensayos de agregado fino y grueso se usaron balanzas con las siguientes características:
 - Para el agregado fino, con aproximación de 0.1g y sensibilidad a 0.1% del peso de la muestra.
 - Para el agregado grueso, con aproximación de 0.5g y sensibilidad a 0.1% del peso de la muestra.
- Estufa: de tamaño adecuado y capaz de mantener una temperatura uniforme.
- Tamices: tamices seleccionados de acuerdo a las especificaciones del material que se va a ensayar.

Los instrumentos por utilizarse para la elaboración del ensayo Marshall fueron:

- Molde ensamblado para especímenes, moldes cilíndricos, placas de base y collarines de extensión.
- Extractor de especímenes; con un disco de acero que encaje en el molde sin doblarse y no será menor de 100mm de diámetro y 12.5mm de espesor.
- Martillos de compactación con manubrio sostenido manualmente con un pie de compactación plano con un tornillo y una masa deslizante de $4,54 \pm 0,01$ kg con caída libre de $457,2 \pm 1,5$ mm.
- Martillo de Compactación con manubrio fijo, con sobrecarga en la parte superior del manubrio, base de rotación constante y operado mecánicamente,

con la cara circular de apisonado y un peso deslizante de $4,54 \pm 0,01$ kg con una caída libre de $457,2 \pm 1,5$ mm.

- Pedestal de compactación, consistirá en un poste de madera de 203,2 por 203,2 mm, aproximadamente de 457 mm de largo cubierto con una placa de acero aproximadamente de 304,8 mm por 304,8 mm y 25,4 mm de grosor.
- Sostén del molde para espécimen, en compactadores de martillo simple el sostén estar montado sobre el pedestal de compactación de tal manera que el molde de compactación quede centrado en el pedestal de compactación.
- Hornos, cacerolas para calentar o placas calentadoras.
- Contenedores para calentamiento de agregados, bandejas de metal de fondo plano, u otros adecuados.
- Contenedores cubiertos que calentaron material bituminoso.
- Herramientas de mezclado, con cucharones de acero y mezclado a mano.
- Termómetro calibrador, el cual sirvió para determinar la temperatura del agregado.
- Balanza con aproximación de 0.1g para las bachadas de mezcla.
- Guantes, con los cuales se maniobró equipos calientes.
- Crayones, para identificar los especímenes.
- Cucharón de base plana, para bache los agregados.
- Cuchara larga que se usó para colocar la mezcla en el molde de los especímenes.
- Cabezal de ruptura.
- Máquina de carga a compresión.
- Dispositivo de medida de carga (Anillo dinamómetro de 22240 N (5000 lbf))
- Medidor de flujo.

- Baño de agua (Precisión de $\pm 1^{\circ}\text{C}$).
- Horno, capaz de mantener temperaturas especificadas.
- Baño de aire, para el caso de mezclas con asfalto líquido.
- Termómetros, con precisión de 0.2°C .

2.7. Procedimiento

2.7.1. Granulometría

El ensayo de granulometría consistió en el secado de la muestra a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, para posteriormente hacer pasar las partículas a través de una columna de tamices de diferentes mallas, estos se colocaron de mayor a menor abertura de malla para posteriormente tamizar los agregados durante 5 o 10 min. Una vez terminado de tamizar se procede a pesar los materiales retenidos en cada uno de los tamices y con estos datos se obtuvieron las curvas granulométricas que nos permitirá visualizar la tendencia homogénea de los tamaños de agregados.

En los ensayos realizados para nuestra investigación tomamos los siguientes datos:

- Muestra para la granulometría del agregado fino:

Se obtuvo 40 kg en un saco de polipropileno de la cantera Sulca – El Milagro.

Tabla 7

Granulometría del agregado fino

TAMIZ	ABERTURA (mm.)	PESO TAMIZ (g.)	TAMIZ + MUESTRA (g.)	PESO RETENIDO (g.)	PARCIAL RETENIDO (%)	ACUMULADO (%)	
						RET.	PAS.
3/8"	9.500			0.00	0	0	100
N°4	4.750	190.01	214.00	23.99	2	2	98
N°8	2.360	171.58	246.51	74.93	7	9	91
N°16	1.180	127.98	280.00	152.02	14	24	76
N°30	0.600	124.19	350.00	225.81	22	45	55
N°50	0.300	123.31	420.00	296.69	28	74	26
N°100	0.150	115.05	340.00	224.95	21	95	5
N°200	0.075	246.83	284.54	37.71	4	99	1
FONDO		218.74	231.51	12.77	1	100	0

- Muestra para la granulometría del agregado grueso 1/2”:

Se obtuvo 40 kg en un saco de polipropileno de la cantera Sulca – El Milagro.

Tabla 8

Granulometría del agregado grueso 1/2”

TAMIZ	ABERTURA (mm.)	PESO TAMIZ (g.)	TAMIZ + MUESTRA (g.)	PESO RETENIDO (g.)	PARCIAL RETENIDO (%)	ACUMULADO (%)	
						RET.	PAS.
1 1/2"	37.500	553.08	553.08	0.00	0	0	100
1"	25.000	535.37	632	96.63	9	9	91
3/4"	19.000	535.37	874	338.63	30	39	61
1/2"	12.500	535.68	934	398.32	35	74	26
3/8"	9.500	542.1	704.00	161.90	14	88	12
Nº4	4.750	508.08	569.00	60.92	5	94	6
Nº8	2.360	490.05	490.05	0.00	0	94	6
Nº16	1.100	410.72	410.72	0.00	0	94	6
Nº30	0.600	402.78	402.78	0.00	0	94	6
Nº50	0.297	349.6	349.60	0.00	0	94	6
Nº100	0.149	345.12	345.12	0.00	0	94	6
Nº200	0.075	300.49	371.75	71.26	6	100	0
FONDO	Fondo	368.97	368.97	0.00	0	100	0

- Muestra para la granulometría de la mezcla de agregados:

Se empleó una proporción de mezcla de agregados de 40% de agregado grueso

y 60% de agregado fino.

Tabla 9

Granulometría de mezcla de agregados

Peso Original (gr)		800			Especific. MAC - 2		
Perdida por Lavado		42.25			Limites		
PESO TAMIZADO		757.75			Superior		Inferior
ABERT. MALLA	PESO	%	% RET	% PASA	% Pasa	% Pasa	
Pulg/malla	mm	RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO				
2"	50.800						
1"	25.400			100.00			
3/4"	19.050	1.65	0.22	0.22	100.00%	100.00%	
1/2"	12.700	11.64	1.54	1.75	98.25	100.00%	
3/8"	9.525	110.58	14.59	16.35	83.65	88.00%	
Nº 4	4.760	84.61	11.17	27.51	72.49	68.00%	
Nº 8	2.381	136.58	18.02	45.54	54.46	51.00%	
Nº 10	2.000	75.62	9.98	55.52	44.48	52.00%	

N° 16	1.191	11.54	1.52	57.04	42.96		
N° 30	0.595	53.65	7.08	64.12	35.88		
N° 40	0.420	58.64	7.74	71.86	28.14	28.00%	17.00%
N° 50	0.296	66.39	8.76	80.62	19.38		
N° 100	0.149	38.21	5.04	85.66	14.34		
N° 200	0.074	41.29	5.45	91.11	8.89	8.00%	4.00%
Plato		67.35	8.89	100.00		Worig =	800
<u>sumatoria</u>		757.75	100.00			Wlay =	757.75
						%Asf =	5.28

Se empleó una gradación MAC-2 de acuerdo con los usos granulométricos obtenidos de la granulometría de la mezcla de agregados, por lo cual se utilizó la siguiente tabla obtenida del manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales para construcción EG - 2013”

Tabla 10

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC - 1	MAC - 2	MAC - 3
25,0 mm (1”)	100		
19,0 mm (3/4”)	80-100	100	
12,5 mm (1/2”)	67-85	80-100	
9,5 mm (3/8”)	60-77	70-88	100
4,75 mm (N.° 4)	43-54	51-68	65-87
2,00 mm (N.° 10)	29-45	38-52	43-61
425 µm (N.° 40)	14-25	17-28	16-29
180 µm (N.° 80)	8-7	8-7	9-19
75 µm (N.° 200)	4-8	4-8	5-10

Fuente: Especificaciones técnicas generales para la construcción EG – 2013

2.7.2. Caracterización de agregados

La elaboración de la caracterización de los agregados fue en base al “Manual de Ensayos de Materiales - 2016”, de donde se realizaron una serie de ensayos en laboratorio.

2.7.2.1. Agregado grueso

- **Durabilidad:**
 - **Muestra:**

El agregado para el ensayo fue el material retenido en el tamiz N°4 (4.75 mm), la muestra será de un peso tal después de tamizar queden las siguientes cantidades en cada uno de los distintos tamaños.

Tabla 11

<i>Tamices normalizados de abertura cuadrada</i>	
Tamaño (tamices normalizados de abertura cuadrada)	Peso en g
Consistiendo de:	
9,5 mm (3/8”) a 4,75 mm (N° 4)	300 ± 5
19,0 mm (3/4”) a 9,5 mm (3/8”)	1 000 ±10
Consistiendo de:	
Material de 12,5 mm (1/2”) a 9,5 mm (3/8”)	300 ± 5
Material de 19,0 mm (3/4”) a 12,5 mm (1/2”)	670 ±10
37,5 mm (1 ½”) a 19,0 mm (3/4”)	1 500 ± 50
Consistiendo de:	
Material de 25,0 mm (1”) a 19,0 mm (3/4”)	500 ± 30
Material de 37,5 mm (1 ½”) a 25,0 mm (1”)	1 000 ± 50
63,0 mm (2 ½”) a 37,5 mm (1 ½”)	5 000 ± 300
Fuente: Obtenido del “Manual de Ensayos de Materiales – 2016”	

La muestra se lavó y secó completamente hasta peso constante de 105°C a 110°C y se separó en diferentes tamaños mediante un tamizado, cuando la cantidad del ensayo consiste en dos tamaños, se procederá a pesarlas por separado y posteriormente combinarlas al peso designado. Se apuntó el peso de la muestra para cada fracción y se colocó en recipientes individuales para el ensayo.

○ **Procedimiento:**

Se colocaron las muestras en sulfato de magnesio, durante un tiempo de 16 a 18 horas, de esta manera la muestra se mantuvo sumergida en la solución a una profundidad de 1.5cm aproximadamente.

Se taparon los recipientes para disminuir la evaporación y evitar que la muestra se contamine con sustancias extrañas, estas se mantuvieron a una temperatura de 21°C +- 1.

Después del tiempo sumergidas se procedió a secar las muestras, luego se dejó escurrir durante 15 min y se pusieron en el horno. Previamente se llevó el horno a la temperatura de 105°C a 110°C. Se secó la muestra a esta temperatura hasta tener un peso constante, durante el secado sacamos las muestras y las pesamos, entre las 2 a 4 horas se puede considerar que ha alcanzado el peso constante. Después de obtener este peso, se enfrió la muestra a temperatura ambiente y luego se introdujo a la solución. En el lavado de la muestra se evitaron impactos que puedan ocasionar quebrantamientos en las partículas.

El proceso se repitió alternando la inmersión y secado hasta obtener el número de ciclos requeridos.

- **Abrasión de los ángulos:**

- **Muestra:**

La muestra se lavó y secó completamente hasta peso constante de 110°C +- 5°C, separando y recombinando cada fracción a la gradación de la figura que se muestra a continuación, lo más cerca posible del rango de medidas del agregado.

Tabla 12

<i>Medidas de tamiz</i>					
Medida del tamiz (Abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
1 1/2"	1"	1 250 +- 25			
1"	3/4"	1 250 +- 25			
3/4"	1/2"	1 250 +- 10	2 500 +- 10		
1/2"	3/8"	1 250 +- 10	2 500 +- 10		
3/8"	1/4"			2 500 +- 10	
1/4"	N°4			2 500 +- 10	
N°4	N°8				5 000
Total		5 000 +- 10	5 000 +- 10	5 000 +- 10	5 000 +- 10

Fuente: Obtenido del “Manual de Ensayos de Materiales – 2016”

Se obtuvo una muestra de campo de acuerdo con el MTC E 201 y se redujo a un tamaño adecuado de acuerdo con la ASTM C 207.

○ **Procedimiento:**

Se colocó la muestra a ensayarse en la máquina de los ángeles y se rotó a una velocidad de 30 rpm a 33rpm por 500 revoluciones. Posteriormente del número de revoluciones se extrajo el material y se hizo una separación preliminar de la muestra, con el tamiz N°12 (1.70 mm), se tamizó la porción más fina que 1.70 mm de acuerdo con el modo operativo. El material más grueso que la malla 1.70 mm se lavó y secó al horno a 110°C +- 5°C, hasta obtener un peso constante.

Si la muestra se encuentra sin revestimiento y polvo el requerimiento de lavado puede omitirse, pero el secado siempre se dará antes del ensayo.

• **Adherencia:**

○ **Muestra:**

El agregado se preparó teniendo que el 100% pase por la malla de 9,5mm (3/8 pulg) y se retenga en la malla de 6,3 mm (1/4 pulg). En la prueba de revestimiento seco los agregados son lavados con agua destilada para todos los finos que contenga, se secaron entre 135 a 149°C hasta peso constante y se almacenaron en un recipiente hermético hasta ser necesario su uso. Los agregados que se usaron en la prueba del revestimiento húmedo se saturaron con superficie seca, usando agua destilada.

Destilada o redestilada, si es necesario, tal que el pH vaya desde 6 a 7. No use electrolitos de ningún tipo para la corrección de pH.

Al proponerse la evaluación del bitumen, use el material de grado, tipo y fuente propuesta. Si se propusieron aditivos químicos, agregar al bitumen en cantidades especificadas y mezclar antes del ensayo.

○ **Procedimiento:**

Se pesó 100 +- 1 g del agregado, secado en horno, a temperatura apropiada dentro del recipiente de mezclado. Se precalentó el bitumen a temperatura especificada y cuando sea necesario añadir 5 +- 0,2 g. Durante 2 minutos se mezcló con una espátula el agregado y el material bituminoso con energía.

Por 2 horas se curó el agregado revestido en el recipiente original a 60°C. La ventilación del horno estuvo abierta en esta etapa del curado. Después de haberse curado, se volvió a mezclar mientras esta se enfría a temperatura ambiente o hasta que el material bituminoso deje de drenar de los agregados. Después de volver a mezclar, el revestimiento debe ser completo.

Se pasó el agregado con el material bituminoso a un recipiente de vidrio de 600 ml, se tapó inmediatamente con 400 ml de agua destilada a temperatura ambiente (aproximadamente 25°C). Se dejó sumergido el agregado en el agua destilada por un periodo de 16 a 18 horas.

Se observó y estimó la cantidad de área recubierta sin revolver o agitar el agregado en la prueba de desprendimiento, se extrajo cualquier partícula que sobro en la superficie del agua. Con una bombilla eléctrica de 75w se iluminó el agregado en el recipiente, posicionándolo para eliminar el brillo en la superficie del agua. Con solo la observación al mirar a través del agua, se estimó el porcentaje del área total con revestimientos retenidos por encima o por debajo que 95%. Toda área de marrón escaso o translucido son consideradas completamente revestidas.

- **Absorción y peso específico:**

- **Muestra:**

La muestra se mezcló y redujo aproximadamente a la cantidad necesaria usando el procedimiento especificado en la ASTM C 702. Se quitó todo el material que paso el tamiz 4,75 mm (Nº 4) por tamizado seco y posteriormente se lavó el material para remover

impurezas que este contenga. Si el agregado grueso tiene cantidades importantes de material más fino que el tamiz 4,75 mm (N° 4), se usara el tamiz 2,36 mm (N° 8) en lugar del tamiz 4,75 mm (N° 4).

Si se ensayara la muestra en dos o más fracciones de tamaños, se determinará la gradación de acuerdo con lo indicado en MTC E 204.

○ **Procedimiento:**

A temperatura de 110 °C +- 5 °C, se secó la muestra a peso constante, en un lugar fresco ventilamos a temperatura ambiente entre 1 a 3 horas para las muestras de ensayo de tamaños máximos de 37,5 mm (1 ½ pulg) o mayores para tamaños más grandes hasta que el agregado haya enfriado hasta una temperatura cómoda al tacto. Se sumergió inmediatamente el agregado en agua a temperatura ambiente por un tiempo de 24 h +- 4 h.

Se retiró la muestra del agua y se pasó sobre un trapo grande y absorbente, hasta quitar toda el agua visible, aunque la superficie del agregado aún parezca húmeda. De manera separada secamos en fragmentos más grandes. Obtenemos el peso de la muestra bajo la condición de saturación con superficie seca. Este y todos los demás pesos se determinan con aproximación de 0,5 g o al 0,05% del peso de la muestra, la que resulte mayor.

Posteriormente al pesado, se colocó de manera inmediata la muestra saturada con superficie seca en la cesta y obtendremos su peso en agua a una temperatura de 23 °C +- 1,7 °C. Se tuvo mucho cuidado al remover todo el aire atrapado sacudiendo la cesta mientras se sumergía.

Posteriormente se secó la muestra hasta peso constante, a una temperatura de 100 °C + 5°C y se dejó enfriar hasta la temperatura ambiente, durante un periodo de 1 a 3 h o hasta que el agregado este a una temperatura que sea cómoda al tacto para luego pesarlo.

● **Humedad (Mismo procedimiento tanto para el agregado grueso y fino):**

○ **Muestra:**

El muestreo del agregado grueso se desarrolló utilizando el método de la MTC E 201, con excepción del tamaño de la muestra.

Se obtuvo una muestra representativa del contenido de humedad de la fuente donde se extrajo para ser evaluada con una masa no menor a lo indicado, la muestra se protegerá contra la pérdida de humedad antes de obtener su masa.

Tabla 13

<i>Tamaño máximo nominal del agregado</i>	
Tamaño máximo nominal de agregado mm (pulgadas)	Masa mínima de la muestra del agregado de peso normal en kg
4,75 (N°4)	0,5
9,5 (3/8")	1,5
12,5 (1/2")	2,0
19,0 (3/4")	3,0
5,0 (1)	4,0
37,5 (2.1/2")	6,0
50,0 (2")	8,0
63,0 (2.1/2")	10,0
75,0 (3")	13,0
90,0 (3.1/2")	16,0
100,0 (4")	25,0
150 (6")	50,0

Fuente: Manual de Ensayos de Materiales - 2016

○ **Procedimiento:**

Se secó la muestra por medio de la fuente de calor escogida, con mucha precaución para evitar la pérdida de partículas. Empleando un horno de temperatura controlada cuando el calor excesivo puede cambiar las características del agregado o cuando se necesite una medición más precisa. Si se emplea una fuente de calor que no sea un horno de temperatura controlada, se revolverá la muestra durante el proceso de secado para acelerar la operación.

Si se va a usar una cocina o plancha, se puede acelerar el secado haciendo el siguiente procedimiento: Agregar suficiente alcohol anhidro hasta tapan la muestra. Mezclar y permitir

que el material se asiente. Verter la mayor cantidad de alcohol posible sin perder ninguna partícula de la muestra. Encender el alcohol sobrante y dejar que arda hasta que se consuma durante el secado de la muestra sobre la cocina o plancha.

Cuando la aplicación de calor adicional cause menos de 0,1% de pérdida adicional de masa la muestra estará suficientemente seca.

Obtener la masa de la muestra seca con una aproximación de 0,1 % después de secar y se haya enfriado lo suficiente para no dañar la balanza.

2.7.2.2. Agregado Fino

- **Equivalente de arena:**

- **Muestra:**

Conforme con la ASTM D 75 se muestreo el material.

Se mezcló completamente la muestra.

Se obtuvo un mínimo de 1500 g de material pasante el tamiz N°4 (4,75mm):

La muestra se separó en el tamiz N°4(4,75mm) mediante un movimiento vertical y lateral del tamiz, de tal forma que se mantenga a la muestra en constante movimiento sobre la superficie del tamiz. Se siguió con el tamizado hasta que no más del 1% en peso del residuo pase el tamiz durante 1 min. El tamizado puede realizarse a mano o mediante un aparato mecánico.

Al disolver cualquier grumo del material en la fracción gruesa que pase el tamiz N°4 (4,75mm) se puede emplear un mortero o un pisón cubierto de jebe.

Se quitó cualquier capa de finos pegado a los agregados gruesos. Esos finos se pueden quitar secando superficialmente el agregado grueso y lavando luego con las manos sobre un recipiente plano.

Se preparó la muestra de ensayo del material pasante la porción del tamiz N°4 (4,75mm) de la muestra.

○ **Procedimiento:**

Se empleó un recipiente de medida, tomando cuatro de estas medidas de la muestra. Siempre que una medida llena del material es recogida de la muestra, se golpea el extremo inferior de la medida sobre una mesa de madera u otra superficie dura alrededor de cuatro veces y sacudirla ligeramente para tener una medida de material consolidado.

Se dispuso la cantidad de material contenido en las cuatro medidas por peso o por volumen en un cilindro plástico seco.

Luego se regresó el material a la muestra, posteriormente se siguió a cuartear la muestra usando el procedimiento de la NTP 339.089 para obtener el peso o volumen predeterminado. Cuando este peso o volumen son obtenidos, dos operaciones adicionales sucesivas de cuarteo sin ajuste proporcionan la cantidad necesaria de material para llenar la medida.

El espécimen de ensayo se puso a secar a peso constante de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y se enfrió a temperatura ambiente antes de ensayar.

Teniendo una condición de flujo libre, se vertió la cantidad suficiente de material para prever la pérdida de finos.

Se cuarteó de 1 000 g a 5 000 g del material. En un recipiente circular mezclamos por completo con un cucharón, rotando a este horizontalmente. El mezclado fue por lo menos de 1 min para alcanzar paridad. El material se verificó que tenga la condición de humedad necesaria, apretando una pequeña parte de la muestra en la palma de la mano. Si se forma un molde que permite su manipuleo sin romperse, entonces se sabe que se obtuvo un correcto rango de humedad. En cambio, si el material está muy seco, el molde se desahoga y se necesitara añadirle agua y volver a ensayar hasta que el material pueda formar un molde. Si

muestra agua libre el material, se encuentra muy húmedo para ser ensayado y debe ser secado al aire, mezclándolo a cada instante para asegurar uniformidad. Este material húmedo, formara un buen molde cuando se chequee inicialmente, de tal manera que el proceso de secado debería seguir hasta una revisión por apretamiento del material de un molde que es más al manipuleo que el original. Si el contenido de humedad como es recibido está dentro de los límites, la muestra se podrá ensayarse de manera inmediata. Si se altera el contenido de húmeda para cumplir esos límites, se podrá colocar la muestra en un recipiente, cubierta con una tapa o con una toalla húmeda sin tocar el material, por un periodo mínimo de 15 min.

Terminado el tiempo mínimo de curado, se volvió a mezclar por 1 min sin agua. Luego de estar completamente mezclado, se formó el material en un cono con una trulla.

Se tomó la lata de medida en una mano y se presionó hacia la base de la pila mientras se mantuvo la mano libre contra el lado opuesto de la pila.

Cuando la lata atravesó la pila y emergió, se realizó suficiente presión con la mano para que el material llene por completo la lata. Se presionó con la palma de la mano compactando el material hasta que se consolide en la lata.

Procedimiento operatorio:

Acomodando el dispositivo del sifón a una botella de 1,0 gal (3,8 L) con la solución de trabajo de cloruro de calcio. Se puso la botella a 91 ± 3 cm (36 ± 1 pulg) sobre la superficie de trabajo.

Comenzando con el sifón y conectándolo a la parte superior de la botella con la solución mediante un pedazo de tubo, mientras se abría el sujetador.

Se sifoneo 102 ± 3 mm ($4 \pm 0,1$ pulg) (indicado en el cilindro graduado) de la solución de trabajo de cloruro cálcico en el cilindro de plástico.

Se echó una de las muestras de ensayo en el cilindro de plástico usando el embudo para evitar esparcirlo.

Se golpeó ligeramente el fondo del cilindro sobre la palma de la mano varias veces para que las burbujas de aire se liberen y para que la muestra se sumerja totalmente en la solución.

Se tuvo la muestra humedecida y al cilindro in disturbado por 10 +- 1 min.

Después de los 10 min del periodo de humedecimiento, se paró el cilindro, y se aflojó luego al material del fondo invirtiendo parcialmente el cilindro y agitándolo simultáneamente.

Luego se agarró el cilindro de forma horizontal y se movió vigorosamente de forma horizontal de extremo a extremo.

En 30 s aproximadamente se movió el cilindro 90 ciclos usando un recorrido de 23+- 3cm (9 +- 1pulg). Para mover apropiadamente el cilindro a esta velocidad, se hizo necesario que solamente se mueva con el antebrazo, relajando el cuerpo y hombros.

Siguiendo con la operación de movimiento, colocamos el cilindro sobre la parte superior de la mesa de trabajo y quitar el tapón de jebe.

Durante la irrigación, se mantuvo el cilindro de forma vertical y la base en contacto con la superficie de trabajo. Se puso el tubo irrigador en la parte superior del cilindro, removiendo los sujetadores de la manguera, y enjuagando el material de las paredes del cilindro. Se forzó el irrigador a través del material en el fondo del cilindro, aplicando una acción de punzonamiento y giro mientras la solución de trabajo fluye del irrigador.

Se continuó aplicando el punzonamiento y el giro mientras los finos continúan circulando hacia arriba hasta que el cilindro se rellena en la gradación de 38,0 cm (15 pulg). Posteriormente se enjuagó lentamente el tubo irrigador, evitando derramar el líquido, de tal

forma que el nivel de líquido se mantenga alrededor de la gradación de 38,0 cm (15 pulg) mientras se va retirando el tubo irrigador.

El cilindro y su contenido se mantuvo sin ser movido por 20 min +- 15s. Posteriormente se comenzó a tomar el tiempo después de retirar el tubo irrigador.

Después de los 20 min del periodo de sedimentación, se pasó a registrar el nivel de la parte superior de la suspensión de arcilla y el tiempo total de sedimentación.

A continuación, se tomó la lectura de arcilla, colocando el dispositivo de pesado de pie sobre el cilindro y bajando lentamente el dispositivo, hasta que descansa sobre la arena. No se permitió que el indicador toque el interior del cilindro. Reste 25,4 cm (10 pulg) del nivel indicado por el borde superior extremo del indicador y registre este valor como la lectura de arena.

- **Durabilidad:**

- **Muestra:**

Por un tamiz 9,50 mm (3/8”) se pasó el agregado fino para el ensayo. La muestra fue de un peso tal, que luego de ser tamizada queden por lo menos 100 g de material en cada uno de los tamices. Los pesos retenidos fueron de por lo menos de 5 % de la muestra tamizada, en función de lo siguiente:

Tabla 14

<i>Retenido sobre el tamiz normalizado</i>	
Pasa el tamiz normalizado	Retenido sobre el tamiz normalizado
N°30	N°50
N°16	N°30
N°8	N°16
N°4	N°8
3/8"	N°4

Fuente: Manual de Ensayos de Materiales - 2016

Se lavó completamente la muestra de agregado fino sobre un tamiz 300 μm (N° 50), y se secó hasta obtener un peso constante a 105 °C o 110 °C, posteriormente se separó en diferentes tamaños, por tamizado, por medio de un juego de los tamices. De lo obtenido de esta forma se seleccionó muestras de 100 g después de efectuar un tamizado completo. El agregado fino que se adhiere a las mallas de los tamices al preparar las muestras no se usa en el ensayo. Las muestras de 100 +- 1 g de cada una de las fracciones después del tamizado final se separaron y se colocaron en envases individuales para el ensayo.

○ **Procedimiento:**

Se colocaron las muestras en solución de sulfato de sodio o magnesio, durante un tiempo de 18 horas y no menos de 16 horas, de esta manera la muestra se cubrió por la solución a una profundidad de 1.5cm aproximadamente.

Se taparon los envases para disminuir la evaporación y evitar que entren sustancias extrañas a la muestra, estas se mantuvieron a una temperatura de 21°C +- 1.

Posteriormente al periodo de inmersión se procedió a secar las muestras, luego se dejó escurrir durante 15 min y se colocaron en el horno. Antes se calentó el horno a una temperatura de 105°C a 110°C. La muestra se secó a esta temperatura hasta tener un peso constante. Las muestras se pesaron durante el secado, alrededor de 2 a 4 horas se puede tener en cuenta que ha alcanzado el peso constante. Posteriormente al haber conseguido este peso, la muestra se enfrió a temperatura ambiente y luego se introducirá a la solución. Durante el lavado de la muestra se previnieron impactos que pudieron ocasionar roturas en las partículas.

El proceso se repitió alternado de inmersión y secado hasta que se obtuvo el número de ciclos requeridos.

• **Absorción y peso específico:**

○ **Muestra:**

Se muestreó el agregado conforme la MTC E 201. Luego se mezcló de forma pareja y se redujo por cuarteo hasta tener una muestra de ensayo de aproximadamente 1 kg.

Se puso el agregado fino que se obtuvo por cuarteo y secado a peso constante a una temperatura de 110 ± 5 °C en un recipiente y se tapó con agua durante 24 horas dejándolo reposar. Luego se vertió el agua evitando pérdida de finos y se esparció el agregado sobre una superficie plana con una corriente de aire tibio mezclándolo frecuentemente y así secándolo, hasta que las partículas del agregado no se peguen entre sí. Se colocó en el molde cónico y golpeo la superficie suavemente 25 veces con la varilla para apisonado y levantar luego el molde. Posteriormente se continuó secando, mezclando constantemente y ver hasta que el cono se derrumbe al quitar el molde.

○ **Procedimiento:**

Se colocó en el frasco una muestra de 500 g de material preparado, llenándolo parcialmente con agua a una temperatura de 23 ± 2 °C hasta que llegó a la marca de 500 cm³. Se mueve el frasco para eliminar burbujas de aire atrapadas.

Posteriormente, al quitar las burbujas de aire, se acopló la temperatura del frasco y su contenido a 23 ± 2 °C y lleno el frasco hasta la capacidad calibrada. Se determinó el peso total del frasco, muestra y agua.

Luego se mezcló el agregado fino del frasco secando en una estufa hasta peso constante a una temperatura de 110 ± 5 °C, posteriormente se enfrió a temperatura ambiente por $\frac{1}{2}$ a $1 \frac{1}{2}$ hora y determino el peso obtenido.

2.7.3. Ensayo Marshall

La elaboración de los ensayos por el método Marshall fueron según el “Manual de Ensayos de Materiales - 2016”, de donde se realizaron una serie de briquetas con porcentajes de cemento asfáltico distintos.

Especímenes de ensayo:

Los agregados se prepararon secándolos a peso constante entre 105°C y 110°C en horno, posteriormente al secado se pasaron los agregados por tamizado en la cantidad necesaria. Las siguientes fracciones mínimas son las recomendadas:

25 a 19 mm (1 a ¾ pulg)

19 a 12,5 mm (¾ a ½ pulg)

12,5 a 9,5 mm (½ a 3/8 pulg)

9,5 a 4,75 mm (3/8 a N°4)

4,75 a 2,36 mm (N°4 a N°8)

2,36 mm (pasante la N°8)

Preparación de la mezcla:

Se podrán preparar las muestras por bachadas solas o de bachadas múltiples que puedan tener suficiente material para tres o cuatro especímenes.

En contenedores separados se pesó la cantidad de cada fracción de agregado necesario para producir una bachada que resultara en 1, 2, 3 o 4 especímenes compactados. Colocamos los agregados de las bachadas en recipientes sobre una placa de calentamiento, también se pudieron poner directo en el horno y calentar, pero sin exceder la temperatura de la mezcla establecida. Agarramos el contenedor de la mezcla con el agregado caliente y mezclamos en seco. A continuación, formamos un cráter en el agregado mezclado seco y pesamos la cantidad necesaria de cemento asfáltico a temperatura de mezcla dentro de la mezcla. Se realizó con cuidado para prevenir pérdida de la mezcla durante la manipulación al mezclar. En este momento la temperatura de mezcla estuvo entre los límites determinados. Se mezcló el cemento asfáltico y los agregados rápidamente hasta estar cubierto totalmente por 60s para bachadas simples o 120s para bachadas con especímenes múltiples.

Se acomodó las bachadas simples en el recipiente de metal cubiertos en horno de 8°C a 11°C por encima de la temperatura ya establecida por un periodo de 1 hora mínimo y 2 horas como máximo.

En muestras de múltiples bachadas, se puso la bachada total en una superficie limpia no absorbente. Se mezcló a mano para asegurar que quede de manera uniforme y cuarteo a un tamaño de muestra para conformar el espécimen. Para cementos asfálticos se puso las muestras en recipientes de metal cubiertos y en un horno ventilado a la temperatura establecida para acondicionarlos por espacio de 1 hora como mínimo y 2 horas como máximo.

Compactación de los especímenes:

Se limpió por completo el molde ensamblado y la cara del martillo de compactación para posteriormente calentarlos ambos en agua hirviendo en horno o en una placa calentadora a temperatura entre 90°C y 150°C. Se colocó un pedazo de papel no absorbente estando cortado del tamaño de la base del molde antes de introducir la mezcla. Se colocó la mezcla en el molde y se chuseo con energía la mezcla con la espátula calentada 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el interior, colocando otra pieza de papel no absorbente para que cuadre en la parte superior. La temperatura estuvo entre los límites establecidos antes de la compactación.

Se colocó el molde ensamblado en el pedestal de compactación con el sujetador y se aplicó el número requerido de golpes con el martillo. Posteriormente se removió la placa base y el collar, luego se volteó y reensambló el molde. Se aplicó la misma cantidad de golpes con el martillo en la cara reversa del espécimen. Luego de la compactación se removió la placa base y el collar para posteriormente permitir que el espécimen se enfrié lo suficiente para evitar algún daño y extraer del molde. Se transfirió el espécimen a una superficie suave y plana para que se enfrié a temperatura ambiente (se puede dejar toda la noche enfriando).

Cuando la compactación es manualmente con el martillo, coger el eje del martillo con la mano tan cerca de la perpendicular de la base del molde ensamblado. En este procedimiento original Marshall ningún aparato mecánico debe ser empleado para que se restrinja el manubrio del martillo durante la compactación.

Ensayo de estabilidad y flujo:

Ya en este ensayo de estabilidad y flujo se procedió a ensayar un mínimo de 3 especímenes que tengan la misma cantidad de agregado, calidad y gradación y la misma fuente de ligante, grado y cantidad. También, tuvieron la misma preparación en cuanto a temperatura, compactación y enfriamiento.

Los especímenes se enfriaron a temperatura ambiente luego de la compactación. Durante el enfriamiento fueron colocados en una superficie plana. Se determinó el peso específico bulk de cada espécimen por el método D2726. Los pesos específicos bulk para cada contenido de ligante estarán dentro de $\pm 0,20$ del promedio tal como se indica en D6926.

Se midió el espesor de los especímenes como dice la MTC E 507.

Al momento que los especímenes alcancen la temperatura ambiente, ya se encontraron listos para ensayarlos, estos ensayos se completaron pasadas las 24 horas de haberse compactado. Los especímenes se llevaron a la temperatura especificada al sumergirlos en agua durante 30 a 40 min o colocándolos en horno de 120 a 130 min.

Se mantuvo el baño u horno a $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Se lubricó las líneas guía de tal manera que el segmento superior del cabezal se deslice libremente, este estuvo a temperatura de 20 a 40°C .

Posteriormente se removió el espécimen del agua u horno y se colocó en el segmento inferior del cabezal, en el segmento superior sobre el espécimen, y en el conjunto completo en la máquina de carga. Se puso el flujómetro en posición sobre las líneas guías y ajusto

mientras se sostenía firmemente contra el segmento superior del cabezal mientras se ejecutó el ensayo.

El tiempo del espécimen del baño u horno a la determinación de la carga máxima no se excedió de 30s. Se aplicó la carga al espécimen de manera constante de 50mm/min hasta que la carga decreció según lo indique el dial de la carga y se registró la carga máxima indicada en la máquina de carga o convertirla de la lectura máxima del dial micrómetro como estabilidad Marshall, liberar el flujómetro y se anotó la lectura que da el dial micrómetro en el instante en que la máxima carga comenzó a decrecer.

El valor del flujo normalmente se da en unidades de 0,25mm.

2.8. Aspectos éticos

Para el trabajo de investigación se tomaron en cuenta las reglas éticas, lo que viene siendo que las informaciones obtenidas para el presente trabajo de investigación han sido citadas debidamente con la norma APA. De esta manera se ha evitado emplear copia de información de otros autores.

También se tuvo en cuenta la veracidad de la información presente, respecto a la investigación de la influencia del tereftalato de polietileno en las propiedades físicas – mecánicas de una mezcla asfáltica, evitando así cualquier tipo de información falsa en la presente investigación.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a través de ensayos realizados en el laboratorio de la Universidad Nacional de Trujillo, cumpliendo con cada objetivo planteado:

3.1. De los agregados:

En la figura 3 y 4 se muestran las curvas obtenidas a través del ensayo de granulometría del agregado grueso y fino, además de ambos límites, superior e inferior, con lo cual se comprueba que los valores cumplen con lo estipulado en la norma MTC E 204 del Manual de Ensayos de Materiales (2016).

Granulometría:

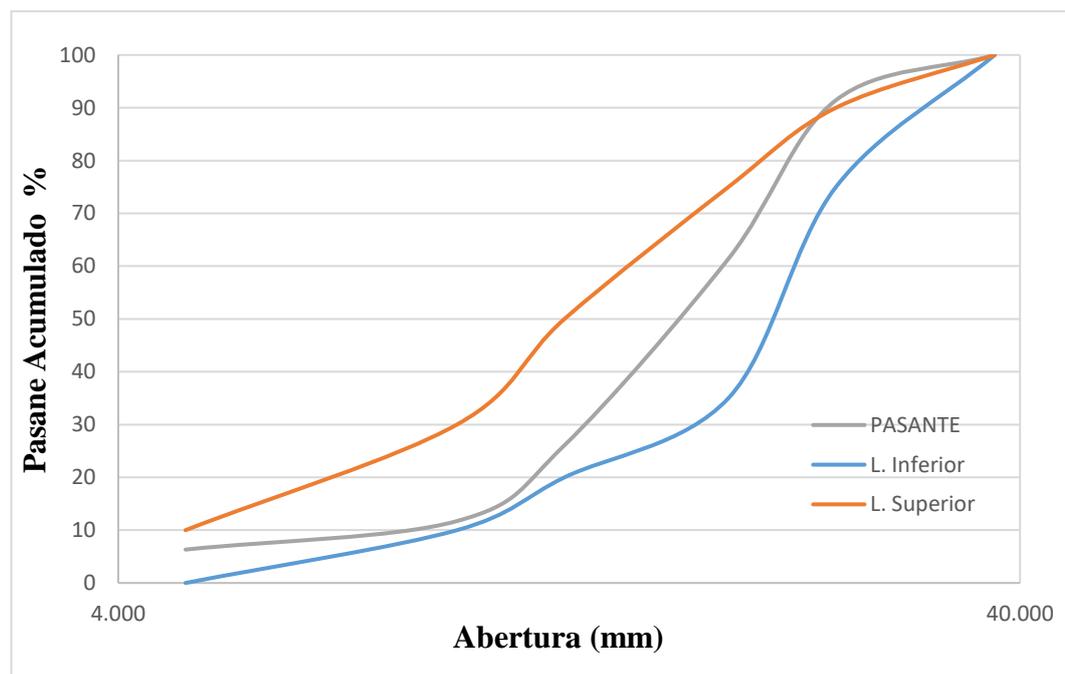


Figura 3 Curva granulométrica del agregado grueso

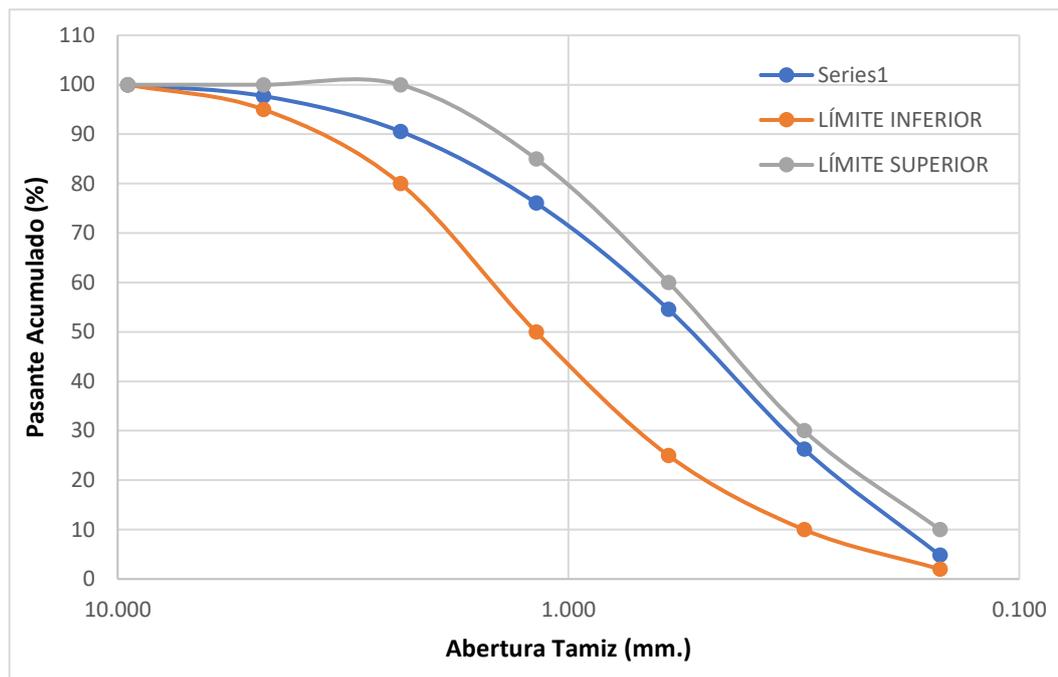


Figura 4 Curva granulométrica del agregado fino

Contenido de humedad:

Se muestra los datos obtenidos para hallar el porcentaje de contenido de humedad del agregado grueso y fino, cumpliendo con estándares establecidos en la norma.

Tabla 15

Contenido de humedad del agregado grueso

DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRAS		
		M-1	M-2	M-3
Peso de tara	g	86.13	76.08	70.65
Peso de la muestra natural	g	98.01	109.36	124.69
Peso de muestra seca + Tara	g	183.89	185.30	195.11
Contenido de humedad	%	0.3	0.1	0.2
Promedio	%		0.2	
Contenido de humedad:			0.2	%

Tabla 16

Contenido de humedad del agregado fino

DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRAS		
		M-1	M-2	M-3
Peso de tara	g	64.18	72.30	75.01
Peso de la muestra natural	g	86.81	88.27	82.87
Peso de muestra seca + Tara	g	149.02	158.53	156.09
Contenido de humedad	%	2.3	2.4	2.2
Promedio	%		2.3	
Contenido de humedad:			2.3	

En las tablas 15 y 16 se pueden observar los porcentajes de contenido de humedad que presentaron los agregados, siendo 0.2 y 2.3 %, para agregado grueso y fino respectivamente, realizados bajo la norma MTC E 215 del Manual de Ensayo de Materiales (2016).

Tabla 17

Durabilidad al sulfato de magnesio (agregado grueso)

AGREGADO GRUESO						
%	% Ret	Pesos de ensayo (gr)		% de	Escalonado	% de pérdida
Pasa		Antes	Después	pérdida	original	corregida
		de ensayo				
2"	1 1/2"	-	-	-	-	-
1 1/2"	1"	-	-	-	-	-
1"	3/4"	2500.0	2438.5	2.46	14	0.34

3/4"	1/2"	1000.0	956.8	4.32	16	0.69
1/2"	3/8"	500.0	467.2	6.56	11	0.72
3/8"	N°4	300.0	278.0	7.33	25	1.83
Total:					66.00	3.58

En la tabla 17 se muestra los cálculos obtenidos para determinar la durabilidad al sulfato de magnesio del agregado grueso bajo la norma MTC E 209 del Manual de Ensayos de Materiales (2016), obteniendo un valor de 3.58 %, cumpliendo con lo estipulado en el Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013.

Tabla 18

Abrasión de los Ángeles (agregado grueso)

PRUEBAS		1
Gradación usada		C
N° de esferas		8
N° de Revoluciones		500
Pa = Peso muestra seca antes del ensayo G.M.S.		5,002
Pb = Peso muestra seca después del ensayo y después de lavar sobre tamiz N° 12		3,584
Pa - pb = pérdida		1,418
% Desgaste = ((pa - pb) / pa) * 100		28.3%
Especificación: menor de		40%
Cumple	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Si	No	

La tabla 18 evidencia los cálculos realizados para obtener la resistencia a la degradación por medio de la Máquina de los Ángeles, teniendo un resultado de 28.3 %, encontrándose dentro del rango permitido, estipulado por el Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013.

Tabla 19

DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRAS		
		M-1	M-2	M-3
B =Peso de la muestra SSS	g	1005.72	1007.13	1003.21
C = Peso de la muestra SSS en el agua	g	627.93	622.98	629.42
Peso de bandeja	g	0.00	0.00	0.00
Peso de bandeja + Muestra seca	g	1000.02	1000.10	1000.61
A = Peso de la muestra secada en el horno	g	1000.02	1000.10	1000.61
Peso específico de masa SSS	kg/m ³	2662.11	2621.71	2683.89
Peso específico aparente	kg/m ³	2687.58	2651.94	2695.68
Peso específico de masa	kg/m ³	2647	2603	2677
Promedio del peso específico de masa	kg/m ³		2642	
Peso específico de masa:	2642	kg/m ³		

Tabla 20

Absorción (agregado grueso)

DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRA		
		M-1	M-2	M-3
B =Peso de la muestra SSS	kg	1005.72	1007.13	1003.21
A = Peso de la muestra secada en el horno	kg	1000.02	1000.10	1000.61
Porcentaje de absorción (%)	%	0.6	0.7	0.3
Promedio	%	0.5		
Absorción:	0.5	%		

La tabla 19 y 20 muestra los resultados obtenidos para el peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso, evidenciando una cantidad de 2642 kg/ m³ y 0.5 % respectivamente, realizados bajo los estándares de la norma MTC E 206 del Manual de Ensayo de Materiales (2016) y cumpliendo con lo estipulado en el Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013.

Tabla 21

DATOS	UND	1	2	3
Cantidad de muestra	und	50	50	50
Cantidad de cemento asfáltico	mL	100	100	100
Temperatura CA	°C	140	140	140
# de partículas recubiertas	und	48	48	48

# de partículas no recubiertas	und	2	2	2
ADHERENCIA	%	96	96	96
ADHERENCIA	%		96	

Adherencia (agregado grueso)

La tabla 21 nos muestra el resultado de Adherencia del agregado grueso con el asfalto realizado bajo la norma MTC E 517 del Manual de Ensayo de Materiales (2016) y a su vez cumpliendo con el requerimiento estipulado en el Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013.

Tabla 22

Equivalente de arena (agregado fino)

DATOS		1	2	3
Hora de inicio	h	10:30	11:40	12:10
Hora de termino	h	11:00	12:10	12:40
Lectura total		4	4	4
Lectura de arena		3.8	3.8	3.8
Equivalente de arena (%)	%	95	95	95
Promedio Equiv. De arena (%)	%		95	

La tabla 22 muestra el resultado del ensayo de Equivalente de Arena, realizado bajo la norma MTC E 114 del Manual de Ensayo de Materiales (2016) y a su vez cumpliendo con el requerimiento estipulado en el Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013.

Tabla 23

Peso específico (agregado fino)

DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRAS		
		M-1	M-2	M-3
Volumen de agua en la fiola	cm ³	500	500	500
Peso de la fiola (limpio y seco)	g	182.41	183.03	179.46
B = Peso de la fiola + Agua	g	680.63	681.56	680.09
Peso de la fiola + Peso muestra	g	565.77	560.01	562.51
SSS				
C = Peso de la fiola + Peso muestra SSS + Agua	g	921.35	923.14	922.14
Peso del agua (5-4)	g	355.58	363.13	359.63
Peso de recipiente	g	89.98	85.1	88.03
Recipiente + Muestra seca	g	464.7	451.92	461.13
A = Peso de la muestra secada al horno	g	374.72	366.82	373.1
S = Peso de la muestra SSS (4-2)	g	383.36	376.98	383.05
Peso específico de masa SSS	kg/m ³	2688	2784	2717
Peso específico aparente	kg/m ³	2796	2929	2847
Peso específico de masa	kg/m ³	2627	2709	2646
Promedio peso específico de masa	kg/m ³		2661	
Peso específico de masa:	2661	kg/m ³		

Tabla 24

Absorción (agregado fino)

DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRA		
		M-1	M-2	383.05
S = Peso de la muestra	g	383.36	376.98	383.05
SSS				
A = Peso de la muestra	g	382.4	375.55	381.4
secada al horno				
Porcentaje de absorción	%	0.3	0.4	0.4
(%)				
Promedio	%		0.4	

La tabla 23 y 24 nos muestra los resultados obtenidos para el ensayo de Peso Específico y Absorción del agregado fino, teniendo un resultado de 2661 kg/m³ y 0.4% respectivamente, realizados bajo la norma MTC E 205 del Manual de Ensayo de Materiales (2016), cumpliendo con el requerimiento estipulado en el Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013.

Tabla 25

Durabilidad al sulfato de magnesio (agregado fino)

AGREGADO FINO						
%	% ret	Pesos de ensayo (gr)		% de pérdida de ensayo	Escalonado original	% de pérdida corregida
		Antes	Después			
Pasa						
3/8"	Nº4	100.0	86.4	13.60	17	2.31
Nº4	Nº8	100.0	85.2	14.80	19	2.81
Nº8	Nº16	100.0	80.5	19.50	19	3.71
Nº16	Nº30	100.0	83.9	16.10	19	3.06
Nº30	Nº50	100.0	91.8	8.20	9	0.74
Nº50	Nº100				7	0.00
Nº100	--				10	0.00
				TOTAL:	100.00	12.63

La tabla 25 muestra el porcentaje obtenido para el ensayo de Durabilidad al sulfato de magnesio para el agregado fino, bajo la norma MTC E 209 del Manual de Ensayo de Materiales (2016).

Tabla 26

Resumen de los resultados de agregados:

RESULTADOS DE AGREGADOS						
Ensayo	Norma	Unidad	Agregado grueso		Agregado fino	
			Resultado obtenido	Resultado Requerido	Resultado obtenido	Resultado Requerido
Contenido de Humedad	MTC E 215	%	0.2		2.3	
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	%	3.58	Máx. 18%	12.63	-
Desgaste por Abrasión de los Ángulos	MTC E 207	%	28.3	Máx. 40%		
Peso Específico	MTC E 206 / 205	kg/m ³	2642		2661	
Absorción	MTC E 206 / 205	%	0.5	Máx. 1%	0.4	Máx. 0.5%
Adherencia	MTC E 517	%	96	Mín. 95		
Equivalente de arena	MTC E 114	%			95	Mín. 60

La tabla 26 muestra a base de resumen, los resultados obtenidos de todos los ensayos realizados a los agregados, evidenciando si cumple o no con la norma estipulada.

3.2. De la mezcla asfáltica:

Se realizaron distintos ensayos para obtener el óptimo contenido de asfalto, probando con 2 diseño de mezcla posibles, añadiéndole a cada una un determinando porcentaje de PEN 60/70, partiendo de 5 hasta 7.5 %, estos datos fueron tomados en base a la zona donde se realizaron los ensayos, y al tipo de mezcla empleada, mezcla en caliente para un pavimento flexible.

Diseño de mezcla 1:

- Agregado fino: 60%
- Agregado grueso: 40%

Tabla 27

Resumen de ensayo Marshall Mezcla 1

ENSAYO DE MÉTODO MARSHALL				
Mezcla 40% grava + 60% arena				
N° golpes	75			
Cemento asfáltico %	Estabilidad (kn)	Flujo (mm)	Porcentaje vacíos %	Densidad (g/cm ³)
5	7.87	9.83	4.19	2.21
5.5	7.98	9.73	4.04	2.33
6	8.15	9.1	3.36	2.32

6.5	8.05	9.83	3.43	2.34
7	7.91	10.1	3.53	2.26
7.5	7.54	10.36	4.35	2.25

La tabla 27 muestra los resultados obtenidos de las características del ensayo Marshall, para la mezcla 40% Grava + 60% de Arena + %CA, bajo los requerimientos estipulados en el Manual de Ensayo de Materiales (2016) y el Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013.

Diseño de mezcla 2:

- Agregado fino: 40%
- Agregado grueso: 60%

Tabla 28

Cuadro resumen del Ensayo Marshall (Mezcla 2)

ENSAYO DE MÉTODO MARSHALL				
Mezcla 60% grava + 40% arena				
N° golpes	75			
Cemento asfáltico %	Estabilidad (kn)	Flujo (mm)	Porcentaje vacíos %	Densidad (g/cm ³)
5	5.38	13.33	5.08	2.27
5.5	5.47	12.67	3.22	2.34
6	5.53	12.78	3.41	2.34
6.5	5.64	12.45	4.27	2.32

7	5.4	11.29	4.6	2.31
7.5	5.22	10.16	5.26	2.29

La tabla 28 muestra los resultados obtenidos de las características del ensayo Marshall, para la mezcla 60% Grava + 40% de Arena + %CA, bajo los requerimientos estipulados en el Manual de Ensayo de Materiales (2016) y el Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013.

En la figura 5 se muestra los resultados obtenidos del ensayo Marshall de muestras asfálticas preparadas con 40% de arena + 60% de grava y 60% de arena + 40% de grava, con distintas cantidades de cemento asfáltico. La gráfica muestra el incremento del esfuerzo para ambas proporciones cuando la cantidad de cemento asfáltico se vio incrementado, pero solo hasta cierto porcentaje. Siendo la mezcla de 40% de grava + 60% de arena, donde más aumentan los valores, alcanzando su más alto valor en 6% de cemento asfáltico, con 8.15 KN de estabilidad, teniendo en cuenta también el Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013, en el cual indica que la estabilidad mínima debe ser 8.15 KN.

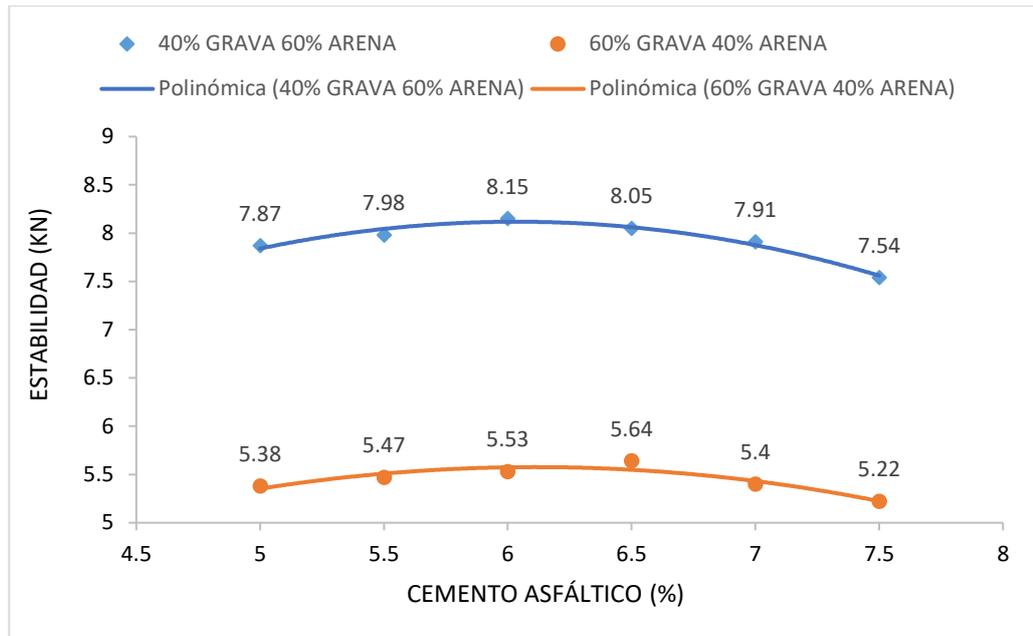


Figura 5 Relación Estabilidad % vs Cemento Asfáltico %

La figura 6 muestra que los valores más bajos se dieron cuando las muestras fueron elaboradas con la mezcla asfáltica de 40% de grava + 60% de arena + 6% de C.A. La tendencia que se observa es que la cantidad de cemento asfáltico ayuda en la disminución ligeramente de la relación de vacíos, solamente cuando este se usó en un máximo de 6%, a partir de allí los valores de esta propiedad se vieron incrementados.

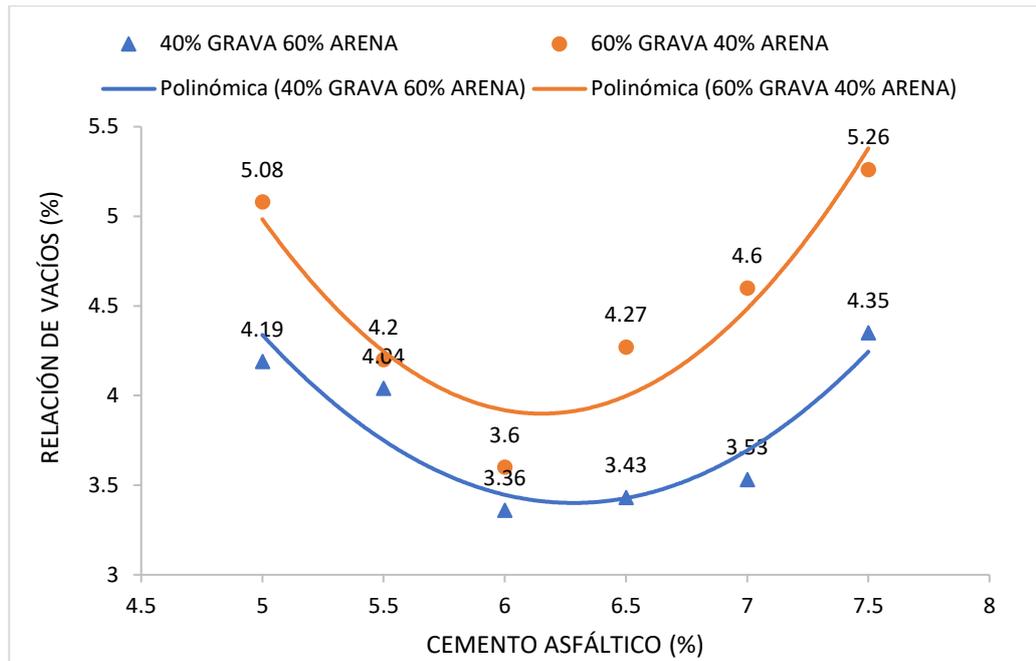


Figura 6: Relación de vacíos % vs Cemento Asfáltico %

La figura 7 evidencia la relación del flujo a medida de ambas mezclas asfálticas obteniendo el valor más bajo la mezcla asfáltica con 40% de grava + 60% de arena + 6% de cemento asfáltico, cuyo valor fue de 9.1 mm.

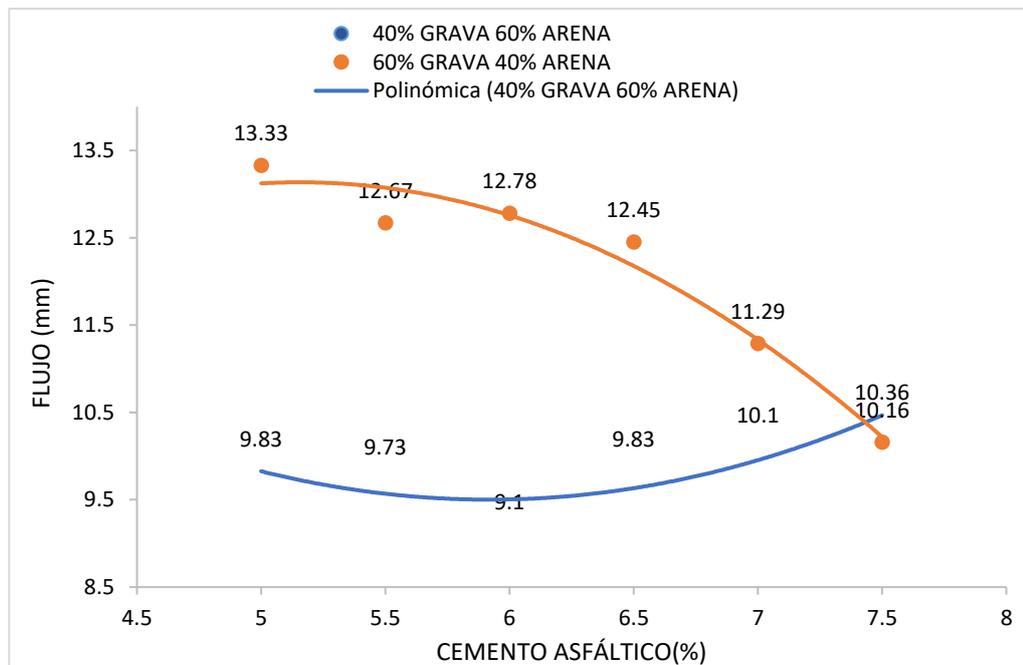


Figura 7 Relación de Flujo (mm) vs Cemento Asfáltico%

De todas las muestras ensayadas con los diferentes diseños de mezcla, se toma como el óptimo diseño de mezcla el siguiente:

- 40% Grava +60% Arena + 6% CA, puesto que es la dosificación que presenta los mejores resultados de las propiedades en estudio.

Seguidamente se muestran los resultados de la mezcla óptima agregándole los diferentes porcentajes de PET:

Tabla 29

Resultados Método Marshall para la muestra óptima con los porcentajes del PET

ENSAYO DE MÉTODO MARSHALL			
Mezcla 40% grava + 60% arena + 6% C.A.			
Pet (%)	Estabilidad (kn)	Flujo (mm)	Porcentaje vacíos %
0	8.15	9.1	3.36
0.5	7.84	9.31	4.16
1	8.48	8.32	3.09
1.5	7.74	10.14	3.83

La tabla 29 evidencia los resultados óptimos del ensayo Marshall, comparándolos con los datos obtenidos para los distintos porcentajes de PET que se presentan, obteniendo el óptimo al 1% de PET, dado que es en ese porcentaje donde se evidencia el mayor rango de estabilidad, y el menor en flujo y porcentaje de vacíos.

De la figura 8 se puede observar la muestra óptima tradicional y con la variación de porcentaje de PET, son sometidas a la prueba de Marshall. Donde se observa que el esfuerzo fue incrementando hasta llegar a un valor máximo de 8.48 KN para las probetas que tuvieron 1% de fibras de PET. Obteniéndose como valor más bajo con probetas que se combinaron con 1.5% de PET, cuyo valor fue de 7.74 KN.

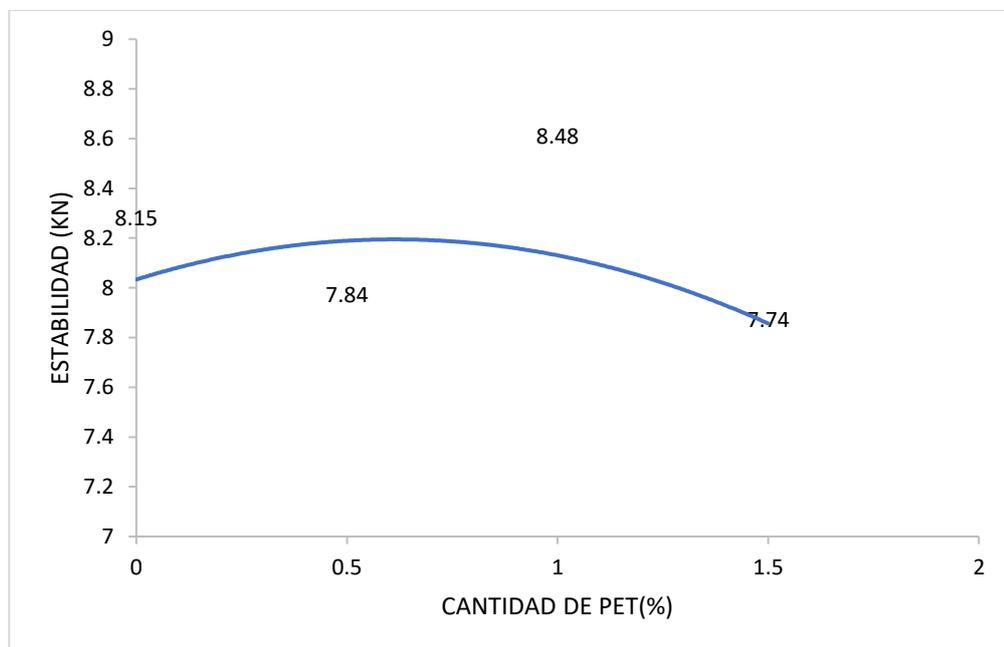


Figura 8 Relación Estabilidad % vs PET%

La figura 9 muestra los resultados obtenidos del ensayo de relación de vacíos de muestras asfálticas con distintas cantidades de PET reciclado. En esta figura se puede observar como a partir del porcentaje de vacíos de la mezcla óptima tradicional, este aumenta, y al llegar al 1% desciende a su más bajo valor, siendo este 3.09% para luego aumentar nuevamente.

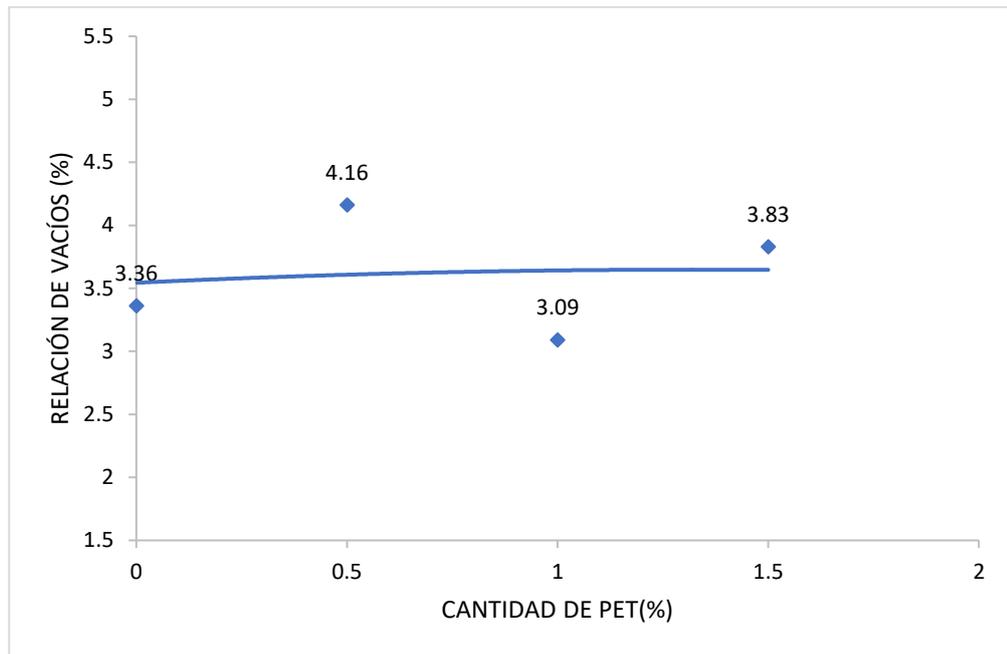


Figura 9 Relación Porcentaje de vacíos vs PET %

La figura 10 muestra el flujo que presentan las muestras asfálticas con la mezcla tradicional y los distintos porcentajes de PET, en la cual se puede observar que al 1% de PET es donde más disminuye, obteniendo un valor de 8.32 mm, para luego aumentar a medida de más cantidad de PET añadida.

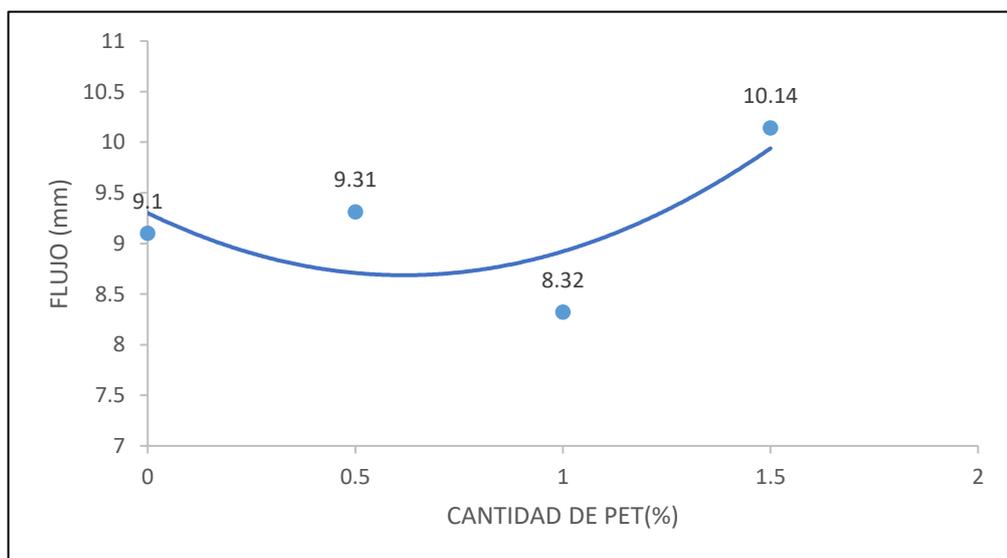


Figura 10 Relación de Flujo (mm) vs PET %

Tabla 30

Resumen comparativo de la Mezcla asfáltica tradicional con la mezcla con PET

ENSAYO MARSHALL		
Características	Mezcla asfáltica óptima tradicional	Mezcla asfáltica óptima con 1% de PET
Nº golpes	75	75
Cemento asfáltico (%)	6	6
Estabilidad (kn)	8.15	8.48
Flujo (mm)	9.1	8.32
Porcentaje de vacíos (%)	3.36	3.09

La tabla 30 y la figura 11 muestran las comparaciones de las características del Ensayo Marshall de la mezcla asfáltica óptima tradicional y la mezcla que se le adiciona el 1% de PET, para ambas mezclas se utilizó 6% de asfalto y 75 golpes. Se evidencia como la Estabilidad aumenta, el flujo y el porcentaje de vacíos disminuyen, al adicionar el 1% de PET.

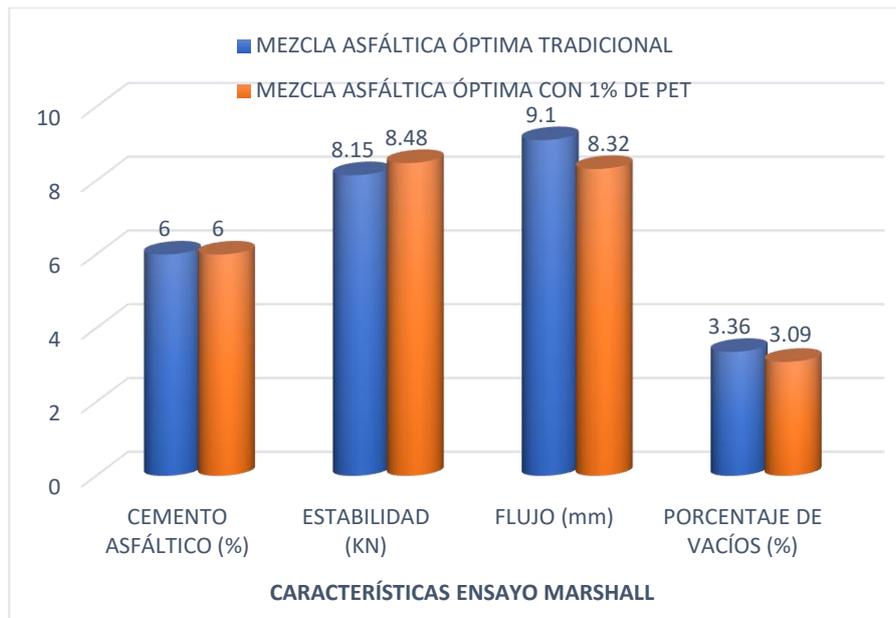


Figura 11 Resumen Comparativo del Ensayo Marshall

Tabla 31

Resumen comparativo de las propiedades del Método Marshall

CARACTERÍSTICAS DEL MÉTODO MARSHALL	MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL ÓPTIMA	MEZCLA ASFÁLTICA CON 1% DE PET	REQUERIMIENTOS DEL MTC EG-2013
N° de golpes	75	75	75
Cemento Asfáltico (%)	6	6	
Estabilidad (KN)	8.15	8.48	8.15 mín.
Flujo (mm)	9.1	8.32	8--14
Porcentaje de vacíos (%)	3.36	3.09	3--5

La tabla 31 muestra una comparación final de las propiedades del Método Marshall, teniendo en cuenta la mezcla asfáltica tradicional, la adiciona con PET y los requerimientos de los parámetros del Método Marshall según el Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013, evidenciando el mejoramiento que se produce en las propiedades de la mezcla modificada y a su vez que cumple con los parámetros establecidos en el manual,

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

La influencia del tereftalato de polietileno (PET) en las propiedades físicas – mecánicas de una mezcla asfáltica, se acepta en la hipótesis planteada que la influencia del tereftalato de polietileno mejorará eficientemente las propiedades físicas – mecánicas de una mezcla asfáltica, por lo tanto, será óptima para su implementación, ya que este compuesto tiene características que lo hacen sobresalir, como su durabilidad, que le da capacidad de disipación de energía frente a cargas ejercidas, lo cual ayuda en la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica, también su impermeabilidad, ya que al ser un material de fácil adherencia, reduce los pasajes en la mezcla, lo cual hará una mejora en el porcentaje de vacíos.

Navarro (2017), en su trabajo de investigación titulado “Propuesta de diseño de mezcla asfáltica con adiciones de PET”, muestra resultados que concuerdan con lo planteado en nuestra investigación para la caracterización de agregados, siendo que sus resultados de agregados están dentro de los parámetros requeridos por las normas, al igual que los resultados obtenidos en nuestra investigación. Por lo cual, tanto la piedra como la arena, se encontraron aptos para seguir con la investigación de la influencia del PET en las propiedades físicas – mecánicas de una mezcla asfáltica.

Castillo y Chávarri (2020), en su trabajo de investigación titulado “Diseño de mezcla asfáltica en caliente con la incorporación de caucho reciclado”, nos muestran resultados para una mezcla asfáltica convencional con el C.A. más óptimo encontrado que es de 5.5%, dando resultados de estabilidad de 10.72 KN, una fluencia de 13.7 mm y un porcentaje de vacíos de 4.9% a una compactación de 75 golpes el espécimen; por otro lado, en nuestra investigación se obtuvieron resultados con el C.A. más óptimo encontrado que es de 6%, dando resultados de estabilidad de 8.15 KN, una fluencia de 9.10 mm y un porcentaje de

vacíos de 3.4% a una compactación de 75 golpes el espécimen. De esta manera el contenido óptimo de asfalto varía con una diferencia de 0.5%, pero los resultados obtenidos en ambas investigaciones se encuentran dentro de los parámetros establecidos por el “Manual de Carreteras” que son de 8.15 KN (mínimo) de estabilidad, flujo de 8 – 14 mm y un porcentaje de vacíos de 3 - 5 %.

Aimacaña (2017), en su trabajo de investigación titulado “Estudios comparativos del comportamiento a compresión de pavimentos asfálticos a base de polímeros y pavimentos flexibles tradicionales”, nos muestran resultados para una mezcla asfáltica con el C.A. más óptimo encontrado que es de 6% y con un contenido de 1% de PET, dando resultados de estabilidad de 15.46 KN, una fluencia de 9 mm y un porcentaje de vacíos de 3% a una compactación de 75 golpes el espécimen; por otro lado, en nuestra investigación se obtuvieron resultados con el C.A. más óptimo encontrado que también es de 6% y con un contenido de 1% de PET, dando resultados de estabilidad de 8.48 KN, una fluencia de 8.32 mm y un porcentaje de vacíos de 3.1% a una compactación de 75 golpes el espécimen. Por lo que se da a entender que los resultados obtenidos en ambas investigaciones se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la norma que son de 8.15 KN (mínimo) de estabilidad, flujo de 8 – 14 mm y un porcentaje de vacíos de 3 - 5 %.

Aimacaña (2017), en su trabajo de investigación nos muestra las mejoras de las propiedades que obtuvo al comparar una mezcla asfáltica convencional con 6.5% de C.A. y una mezcla asfáltica modificada con PET con 6% de C.A., que pasó de una estabilidad de 20.46 KN a 15.46 KN, la fluencia pasó de 10.6 mm a 9 mm y el porcentaje de vacíos de 4% a 3%; por otro lado, en nuestra investigación también se vieron mejoradas las propiedades al comparar una mezcla asfáltica convencional con una mezcla asfáltica modificada con PET, ambas con 6% de C.A., que pasó de una estabilidad de 8.15 KN a 8.48 KN, la fluencia de 9.10 mm a 8.32 mm y el porcentaje de vacíos de 3.4% a 3.1%. Por lo que se da a entender

que la adición del PET en ambas investigaciones si afecto en las propiedades de la mezcla asfáltica.

Por otro lado, Benavides (2014) en su estudio “Pavimentos Ecológicos: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de una mezcla densa en caliente (MDC - 2) modificada con desechos plásticos”, el cual nos señala que la calidad de la mezcla asfáltica aumentará debido a la adición de tereftalato de polietileno, que mejorará considerablemente sus propiedades físicas - mecánicas, haciendo que esta sea mucho mejor a la de una mezcla asfáltica convencional.

También se muestra resultados que concuerdan con lo que plantea Berrio (2017) en su estudio de “Diseño y evaluación del desempeño de una mezcla asfáltica tipo MSC – 19 con incorporación de Tereftalato de Polietileno reciclado como agregado constitutivo”, el cual habla de que la adición de 1% de PET al asfalto, muestra una mejora en cuanto a su rendimiento, ya que se nota una disminución en el porcentaje de vacíos, siendo esta una de las propiedades importantes de la mezcla asfáltica.

Las limitaciones encontradas en la elaboración de la presente tesis fueron la ubicación del laboratorio para realizar los ensayos ya que, en Trujillo, laboratorios especializados exclusivamente en pavimentos no se encuentran, también tuvimos limitaciones en la obtención del cemento asfáltico PEN 60/70, dado que se nos complicó su obtención al no encontrar en Trujillo del tipo y cantidad que requeríamos, por lo cual tuvimos que traerlo desde Lima ya con todas las condiciones adecuadas. Se limitó también a realizar los hallazgos solamente con tereftalato de polietileno triturado, puesto que se podrían emplear el material en filamentos o de forma fundida como adiciones a la mezcla asfáltica para poder ver los cambios de mejora en las propiedades. Esta investigación dará un aporte a la elaboración de mezclas asfálticas modificadas con PET, dando un porcentaje de que cantidad

de Tereftalato de Polietileno sería lo más idóneo para su implementación en una mezcla asfáltica.

Como implicancia a raíz de este estudio realizado, se obtuvieron resultados favorables para las propiedades físicas – mecánicas de una mezcla asfáltica obteniendo incrementos y reducciones porcentuales favorables para dichas propiedades, siendo estas la estabilidad, flujo y el porcentaje de vacíos. Todo esto se ha realizado de acuerdo con el manual de carreteras y al manual de ensayos de materiales, también teniendo en cuenta los antecedentes de investigaciones previas sobre el tema y haciendo comparaciones para obtener una vista más amplia sobre el tema elaborado.

Las propiedades físicas – mecánicas de una mezcla asfáltica modificada con tereftalato de polietileno, obtenidas de la presente investigación, demuestran que, al agregarle PET a una mezcla asfáltica convencional, mejoró sus propiedades físicas - mecánicas, lo cual responde a nuestros objetivos planteados de la influencia del PET a la mezcla asfáltica. Siendo esta de gran utilidad ya que mejorará la vida útil del pavimento.

En resumen, los resultados obtenidos de la caracterización del agregado dieron favorables para su implementación en la mezcla asfáltica a realizar, para posteriormente continuar con la obtención del adecuado porcentaje de PET el cual fue del 1% en la mezcla asfáltica, esta se comparó con una mezcla asfáltica tradicional, dando una mejora en cuanto a sus propiedades físicas – mecánicas, tales como la estabilidad, flujo y vacíos, ya que la cantidad de PET agregado junto con el óptimo C.A. encontrado, demostraron en el ensayo Marshall que es factible emplearlo, siendo notorio las mejoras en sus propiedades. Por tal motivo se da a entender con estos resultados, de que el asfalto modificado con tereftalato de polietileno tendrá una mejor vida útil.

4.2. Conclusiones

Se determinó la influencia del tereftalato de polietileno en las propiedades físicas – mecánicas de una mezcla asfáltica, habiendo una mejora porcentual perceptible en la estabilidad con un aumento de 4%, el flujo disminuyó en un 9% y porcentaje de vacíos disminuyó en un 0.3%, siendo estos las principales propiedades que se tomaron en cuenta.

Se determinó la caracterización de los agregados obteniendo resultados dentro de los parámetros establecidos por las normas con requerimientos menores a 3000 m.s.n.m., siendo del agregado grueso la durabilidad menor a 18%, abrasión de los ángeles menor a 40%, absorción menor a 1%, adherencia mayor a 95% y contenido de humedad no hay requerimientos especificados, para el agregado fino la durabilidad no hay requerimientos especificados para una altitud de menos de 3000 m.s.n.m., absorción menor a 0.5%, equivalente de arena mayor al 60%, contenido de humedad no hay requerimientos especificados. Ambos agregados están aptos para su implementación en la mezcla asfáltica realizada.

Se obtuvo el óptimo contenido de cemento asfáltico, el cual fue de 6%, este resultado salió de varios ensayos con distintos porcentajes los cuales fueron de 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7% y 7.5%; mediante el ensayo de Marshall este porcentaje dio el mejor desempeño, ya que obtuvo la mayor estabilidad, y el menor porcentaje de vacíos y flujo.

Se determinó el porcentaje ideal de tereftalato de polietileno (PET) el cual fue de 1%, este resultado salió de varios ensayos junto a otros porcentajes que fueron de 0.5%, 1% y 1.5%, siendo este porcentaje el que dio mejor desempeño en los ensayos de Marshall.

Se determinó que la comparación entre las propiedades físicas – mecánicas de una mezcla asfáltica modificada con tereftalato de polietileno (PET) vs una mezcla asfáltica convencional, nos da mejores resultados en sus propiedades, siendo que la modificada con tereftalato de polietileno da una estabilidad de 8.45KN, un flujo de 8.32 mm y un porcentaje

de vacíos de 3.1%, mientras que la convencional da una estabilidad de 8.15 KN un flujo de 9.10 y un porcentaje de vacíos de 3.4%.

4.3. Recomendaciones

Esta investigación nos permitió poder conocer y analizar un avance en las construcciones viales, como es el uso de Tereftalato de Polietileno (PET), es por eso por lo que manifestamos las siguientes recomendaciones:

✓ **A las entidades públicas y privadas, y autoridades en general:**

Se recomienda introducir este nuevo material constructivo para los proyectos a futuro, ya sea por parte del estado o alguna concesionaria, obteniendo el PET de plantas de reciclaje para usarlo como un modificante de la mezcla asfáltica, y emplearlo con una dosificación respecto al volumen de mezcla asfáltica que se utilizará para poder tener una mezcla adecuada, la dosificación obtenida en esta investigación fue de 40% Grava +60% Arena + 6% CA + 1% PET, recomendable para zonas costeras del Perú. El país lograría un gran avance con ello, pues este material constructivo atiende aspectos como lo ambiental y estructural.

✓ **A las futuras investigaciones e ingenieros**

Se recomienda que, logren considerar estudios, diseños y ejecuciones de obras viales con la adición de PET en la mezcla asfáltica de manera que exista una mayor cantidad de investigaciones sobre el tema y permita analizar más a profundidad ensayos con esta característica, lográndose un mayor análisis del tema, abordando todas las características y propiedades del asfalto. Y de esta manera se logre que las carreteras del país y del mundo puedan gozar de vías con PET.

✓ **A las empresas constructoras:**

Se les recomienda que puedan optar por proyectos viales con la adición de PET, buscando generar su ingreso en el mercado, ya que son escasos y menores los proyectos ejecutados en el país, y de esa manera, se sumen a la nueva era del avance tecnológico ambiental en las carreteras, contribuyendo así a la disminución de contaminación del medio ambiente.

REFERENCIAS

- Aimacaña, J. (2017)* “Estudio comparativo del comportamiento a compresión de pavimentos asfálticos a base de polímeros y pavimentos flexibles tradicionales” [Título profesional, Universidad Técnica de Ambato]. Recuperado de: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25265/1/Tesis%201114%20-%20Aimaca%C3%B1a%20Iza%20Juan%20Carlos.pdf>
- Arteaga, J. (2018)* “Análisis del comportamiento de la base-cemento para pavimentos con adición de residuos PET reciclado” [Título profesional, Universidad Católica de Colombia]. Recuperada de: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/16406>
- Bastidas, B., Ramírez, J. (2019)* “Estudio de la mezcla asfáltica en caliente adicionada con PET relacionado con el comportamiento de sus propiedades mecánicas, Lima-2019” [Título profesional, Universidad César Vallejo]. Recuperada de: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/45851>
- Benavides, K. (2014)*, “Pavimentos Ecológicos: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de una mezcla densa en caliente (MDC-2) modificada con deshechos plásticos” [Título profesional, Universidad de Cartagena]. Recuperado de: <http://repositorio.unicartagena.edu.co:8080/jspui/handle/11227/1754>
- Berrío, A. (2017)* “Diseño y evaluación del desempeño de una mezcla asfáltica tipo MSC-19 con incorporación de Tereftalato de Polietileno reciclado como agregado constitutivo” [Título profesional, Universidad Nacional de Colombia]. Recuperada de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/63583/>
- Borja, S. (2016)* “Metodología de la Investigación Científica para Ingenieros” [Recuperado de]:

https://www.academia.edu/26909781/Metodologia_de_La_Investigacion_Cientifica_Carrasco_Diaz_1_

Camacho, Y., Gómez, L., López, L. (2019), “Viabilidad diseño de mezcla asfáltica modificada con 1% de fibra de PET” [Título profesional, Universidad Cooperativa de Colombia]. Recuperado de:

https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/12256/6/2019_viabilidad_dise%c3%b1o_mezcla.pdf

Carrasco, S. (2007) “Metodología de la Investigación Científica” [Recuperado de]: https://www.academia.edu/26909781/Metodologia_de_La_Investigacion_Cientifica_Carrasco_Diaz_1_

Castillo, A y Chávarri, A. (2020) “Diseño de mezcla asfáltica en caliente con la incorporación de caucho reciclado” [Título profesional, Universidad Cesar Vallejo]. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/55690>

Corbacho, J. (2019) “Análisis de la estabilidad Marshall y la deformación permanente mediante el ensayo de rueda cargada de Hamburgo de una mezcla asfáltica modificada en caliente con fibras de tereftalato de polietileno reciclado en la ciudad de CUSCO-2018” [Título profesional, Universidad Nacional del San Antonio Abad del Cusco]. Recuperada de: <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/3571>

Cornejo, V., Alejandro, D., Asumasa, L., Cristian, J. (2018) “Caracterización de mezclas asfálticas en caliente, mediante la incorporación de material triturado de productos reciclados de Tereftalato de Polietileno (PEP), utilizando los agregados de la Mina del Río Pita en la Ciudad de Quito, mediante la determinación del módulo de rigidez” [Título profesional, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Recuperada de: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/15819>

- Elías, Z. (2017)* “Análisis de la incorporación del PET y PEAD en la flexibilidad y resistencia a la deformación en un pavimento ecológico” [Título profesional, Universidad Cesar Vallejo]. Recuperada de: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/10227>
- Fonseca, C. (2009)* “Estudio de deformación plástica permanente (RUTTING) en mezclas asfálticas elaboradas con materiales de la zona noreste de México mediante la máquina de pista (WHEEL TRACKING)”. *Revista Ingeniería de Construcción Chile*. Recuperada de: <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/10082>
- Forigua, J., Pedraza P. (2014)* “Diseño de mezcla asfáltica modificadas mediante la adición de desperdicios plásticos” [Título profesional, Universidad Católica de Colombia]. Recuperada de: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/2575>
- Gonzales, C., Estefanía, A., Julieth, A., Vergara, C., Hanlly, L. (2019)* “Viabilidad técnica de obtención de un diseño de mezcla asfáltica adicionada con 3.8% de fibra de PET, que cumpla con la normatividad del Invias” [Título profesional, Universidad Cooperativa de Colombia]. Recuperada de: <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/14185>
- Luque, A. (2019)* “Influencia de la incorporación del tereftalato de polietileno en el comportamiento de los parámetros del diseño Marshall del concreto asfáltico – Juliaca, 2018” [Título profesional, Universidad Nacional del Altiplano Puno]. Recuperada de: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/13230/Luque_Leon_Alex_Mauro.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Machuca, A., Alexander, N. (2017)* “Comportamiento de una mezcla MDC-19 con adición de tiras de polisombra de 15 cm en % de 1.0 y 0.5, con respecto a una mezcla patrón”

[Título profesional, Universidad Católica de Colombia]. Recuperada de:
<https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/14672>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG 2013 (2013).

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Manual de Ensayo de Materiales. (Edición 2016).

*Navarro, J. (2017) “Propuesta de diseño de mezcla asfáltica con adiciones de PET” [Título profesional, Universidad Señor de Sipán]. Recuperada de:
<http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/4569>*

*Ortiz, B. (2017) “Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método de Marshall” [Título profesional, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Recuperada de:
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/8111/1/Brayan%20Jos%C3%BAe%20Ort%C3%ADz%20Marroqu%C3%ADn.pdf>*

*Puente, J. (2020) “Análisis técnico – económico de mezclas asfálticas con tereftalato de polietileno reciclado para la construcción de carreteras asfaltadas” [Título profesional, Universidad Peruana los Andes]. Recuperada de:
<http://repositorio.upla.edu.pe/handle/UPLA/1856>*

*Romero, P., Bonifaz, H., Huertas, G., Cazar, J. (2014) “Diseño de un pavimento flexible adicionando tereftalato de polietileno como material constitutivo junto con ligante AC-20” [Título profesional, Universidad de las Fuerzas Armadas]. Recuperada de:
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8379/1/AC-C-ESPE-047870.pdf>*

Romero, P., Huerta, G., Cazar, J. (2015) “Diseño y evaluación de mezcla asfáltica en caliente, características de pavimentos flexibles o bituminosos con la adición de

tereftalato de polietileno como material constitutivo”, *Revista CIENCIA*. Recuperada de: <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/ciencia/article/view/508>

Rondón, H., Reyes, F., Figueroa, A., Rodríguez, E., Real, C. (2007) “Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas”, *Revista Infraestructura Vial Universidad de Costa Rica*. Recuperada de: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/2046/2010>

Rondón, H., Rodríguez, E., Moreno, L. (2007) “Resistencia mecánica evaluada en el ensayo Marshall de mezclas densas en caliente elaboradas con asfalto modificado con desechos de policloruro de vinilo (PVC) y polietileno de alta densidad (PEAD) Y poliestireno (PS)”, *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*. Recuperada de: <https://repository.udem.edu.co/handle/11407/784>

Unidad de Materiales y Pavimentos (2013) “Evaluación del desempeño de mezclas asfálticas en caliente con y sin la Adición de Polímeros Modificantes para mezclas típicas en Costa Rica” *Revista LanammeUCR*: <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/197>

Vidal, J., Ossa, A. (2011) “Modelación y análisis de susceptibilidad a la deformación permanente de mezclas asfálticas”, *Revista Ingeniería de Construcción*: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732011000200001

ANEXOS

Anexo N° 01: *Recolección de agregados en la Cantera Sulca, ubicada en el Milagro – Trujillo.*



Anexo N° 02: *Extracción de agregado fino de la cantera*



Anexo N° 03: *Extracción del agregado grueso de la cantera*



Anexo N° 04: *Extracción del plástico reciclado PET.*



Anexo N° 05: *Preparación de los agregados para la granulometría*



Anexo N° 06: *Ensayo de Granulometría del agregado grueso*



Anexo N° 07: *Ensayo de Granulometría del agregado fino*



Anexo N° 08: *Ensayo de Desgaste por Abrasión en la Máquina de Los Ángeles*



Anexo N° 09: *Ensayo de Equivalente de Arena*



Anexo N° 10: *Preparación de la mezcla asfáltica*



Anexo N° 11: *Secado de las muestras asfálticas en el horno.*



Anexo N° 12: Ensayo Marshall



Anexo N° 13: *Briquetas asfálticas con PET ensayas por Marshall*



Anexo N° 14: Ficha Técnica del Cemento Asfáltico

Petroperú

INFORME DE ENSAYO (ASFALTO SÓLIDO 60/70 PEN) N° GDCN-LAB-1344-2021

FECHA DE REPORTE: 28.06.2021	FECHA DE RECEPCIÓN: 25.06.2021	CÓDIGO DE MUESTRA : 08644
HORA DE RECEPCIÓN: 10:35 HORAS	PROCEDENCIA: JEFATURA OPERACIONES	BUQUE/TANQUE: -----
TANQUE DE MUESTREO : 9	VOLUMEN CERTIFICADO: -----	DESTINO: PLANTA CONCHÁN

ENSAYOS	MÉTODO ASTM ^(A)	RESULTADOS DEL ANALISIS	ESPECIFICACIONES	
			MIN.	MAX.
PENETRACIÓN:				
a 25°C, 100 gr, 5 seg., 1/10 mm	D 5-13	66	60	70
DUCTILIDAD:				
a 25°C, 5 cm/min, cm	D 113-07	>150	100	
FLUIDEZ:				
- Viscosidad Cinemática a 100°C, cSt	D 2170-10	4875		Reportar
- Viscosidad Cinemática a 135°C, cSt	D 2170-10	420	200	
SOLUBILIDAD:				
Solubilidad en Tricloroetileno, % masa	D 2042-15	99.8	99	
VOLATILIDAD:				
Punto de Inflamación, C.O.C., °C	D 92-16b	290	232	
DENSIDAD:				
Gravedad API a 60°F, °API	D 70-09 ¹	6.8		Reportar
Gravedad Específica a 60/60°F	D 70-09 ¹	1.023		Reportar
SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA:				
Punto de Ablandamiento, °C	D 36-14e1	50.0		Reportar
Índice de Penetración		-0.5	-1	
Efecto de Calor y Aire (Película Fina):	D 1754-09(2014)			
- Cambio de Masa, % masa del Original		0.25		0.8
- Penetración Retenida, % del Original	D 5-13	70	52	
- Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	D 113-07	80	50	

OBSERVACIONES:

- Los resultados corresponden sólo a la muestra analizada.
- La muestra fue proporcionada por el cliente.
La temperatura óptima de mezcla para este producto se encuentra entre 141 y 156°C.
Se adjunta Carta Viscosidad - Temperatura.
- (A): American Society for Testing and Materials

ORIGINAL : CLIENTE	ELABORADO POR:	APROBADO POR:
COPIA 1 : ARCHIVO GENERAL DE INFORMES DE ENSAYO COPIA 2 : INFORME DE ENSAYO DE PRODUCTOS	 MICHAEL FIGUEROLA DUTHURBURU FICHA N° 55130 CCP N° 932	 MICHAEL FIGUEROLA DUTHURBURU FICHA N° 55130 CCP N° 932

GDCNLAB-PG-01S-F-02, Rev. 6 Pag 1 de 2

----- FIN DE INFORME -----

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACIÓN DE PETROPERÚ

Panamericana Sur km 26.5 - Lurín
 Central telefónica: (51) 025-440020 // (511) 39 45 4550
 Portal empresarial: www.petroperu.com.pe





Anexo N° 15: Ficha de Calibración del Máquina para Ensayo Marshall



Humboldt Calibration Certificate

Model	HM-2300.020
Full scale Output	3.0000 mv/v
NTEP#	06-080
Serial#	314498
Capacity	2000 lb
Date	21/03/2021

Zero Balance	2.00% FS
Rated Excitation	10 Vdc
Compensated Temp. Range	14 to 104 °F
Insulation Res.	>1,000 Megohms at 50V DC
Barometric Effect	Nil
Input Resistance	385± 15Ω
Output Resistance	350± 3Ω
Minimum Dead Load	40LB
Vmin	0.200&0.080LB
Safe overload (150%)	150% of capacity
Ultimate Overload (300%)	

Wiring Code			
Red	+ Excitation	Black	- Excitation
Green	+ Output	White	- Output

Caution: Cutting cable will affect the Full Scale Output calibration and Voids warranty!

Data obtained utilizing standards traceable to the National Institute of Standards & Technology.

Anexo N° 15: Granulometría del agregado grueso

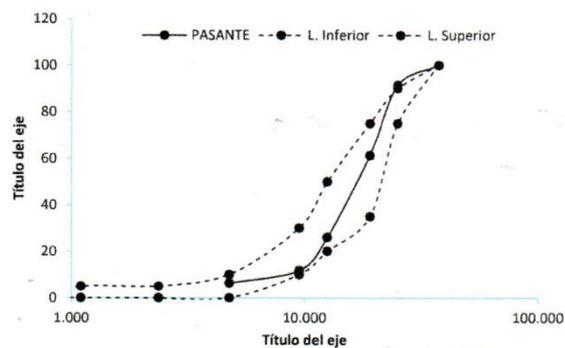


UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE CERÁMICOS Y SUELOS



GRANULOMETRIA DE AGREGADO GRUESO ASTM C 136	
PROYECTO	“INFLUENCIA DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO EN LAS PROPIEDADES FISICAS – MECANICAS DE UNA MEZCLA ASFALTICA, TRUJILLO 2021”
SOLICITANTE	CABREJOS NIETO LUZ PAMELA VIGO FLORES MARCO MIGUEL JUNIOR
CANTERA	CANTERA SULCA- EL MILAGRO
UBICACIÓN	TRUJILLO - LA LIBERTAD
FECHA	JUNIO DEL 2021

TAMIZ	ABERTURA (mm.)	PESO TAMIZ (g.)	TAMIZ + MUESTRA (g.)	PESO RETENIDO (g.)	PARCIAL RETENIDO (%)	ACUMULADO (%)	
						RETENIDO	PASANTE
1 1/2"	37.500	553.08	553.08	0.00	0	0	100
1"	25.000	535.37	535.37	0.00	0	0	100
3/4"	19.000	563.56	563.56	0.00	0	0	100
1/2"	12.500	535.68	948.45	412.77	56	56	44
3/8"	9.500	542.1	795.48	253.38	34	90	10
Nº4	4.750	508.08	509.48	1.40	0	90	10
Nº8	2.360	490.05	490.05	0.00	0	90	10
Nº16	1.100	410.72	410.72	0.00	0	90	10
Nº30	0.600	402.78	402.78	0.00	0	90	10
Nº50	0.297	349.6	349.60	0.00	0	90	10
Nº100	0.149	345.12	345.12	0.00	0	90	10
Nº200	0.075	300.49	371.75	71.26	10	100	0
FONDO	Fondo	368.97	368.97	0.00	0	100	0
PESO TOTAL				738.81	100	T.M.	3/4"
						T.M.N.	1/2"



Jorge Alejandro Barrantes Villanueva
ING. DE MATERIALES
R. C.I.P. N° 497384

Juan Pablo II s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 16: Absorción y peso específico del agregado grueso



PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO ASTM C 127	
PROYECTO	“INFLUENCIA DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO EN LAS PROPIEDADES FISICAS – MECANICAS DE UNA MEZCLA ASFALTICA, TRUJILLO 2021”
SOLICITANTE	CABREJOS NIETO LUZ PAMELA VIGO FLORES MARCO MIGUEL JUNIOR
CANTERA	CANTERA SULCA – EL MILAGRO
UBICACIÓN	TRUJILLO - LA LIBERTAD
FECHA	JUNIO DEL 2021

1. PESO ESPECIFICO

DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRAS		
		M-1	M-2	M-3
B = Peso de la muestra SSS	g	1005.72	1007.13	1003.21
C = Peso de la muestra SSS en el agua	g	627.93	622.98	629.42
Peso de bandeja	g	0.00	0.00	0.00
Peso de bandeja + Muestra seca	g	1000.02	1000.10	1000.61
A = Peso de la muestra secada en el horno	g	1000.02	1000.10	1000.61
Peso específico de masa SSS	kg/m ³	2662.11	2621.71	2683.89
Peso específico aparente	kg/m ³	2687.58	2651.94	2695.68
Peso específico de masa	kg/m³	2647	2603	2677
Promedio del peso específico de masa	kg/m³	2642		
Peso específico de masa:	2642	kg/m³		

2. ABSORCION

ABSORCIÓN		MUESTRA		
DESCRIPCIÓN	UND	M-1	M-2	M-3
B = Peso de la muestra SSS	kg	1005.72	1007.13	1003.21
A = Peso de la muestra secada en el horno	kg	1000.02	1000.10	1000.61
Porcentaje de absorción (%)	%	0.6	0.7	0.3
Promedio	%	0.5		
Absorción:	0.5	%		



Jorge Alejandro Barrantes Villanueva
ING. DE MATERIALES
R.CIP. N° 197384

Juan Pablo II s/n Ciudad Universitaria - Ing de Materiales - UNT / email: lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N°17: Desgaste abrasivo de los ángeles



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE CERÁMICOS Y SUELOS



DESGASTE ABRASIVO DE LOS ANGELES ASTM C 131	
PROYECTO	“INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETILENO EN LAS PROPIEDADES FISICAS –MECANICAS DE UNA MEZCLA ASFALTICA, TRUJILLO 2021”
SOLICITANTE	CABREJOS NIETO LUZ PAMELA VIGO FLORES MARCO MIGUEL JUNIOR
CANTERA	CANTERA SULCA– EL MILAGRO
UBICACIÓN	TRUJILLO - LA LIBERTAD
FECHA	JUNIO DEL 2021

PRUEBAS	
GRADACIÓN USADA	C
No. ESFERAS	8
No. REVOLUCIONES	500
Pa = PESO MUESTRA SECA ANTES DEL ENSAYO, G.M.S.	5,002
Pb = PESO MUESTRA SECA DESPUES DEL ENSAYO Y DESPUES DE LAVAR SOBRE TAMIZ No. 12	3,584
Pa - Pb = PERDIDA	1,418
% DESGASTE = $\frac{Pa - Pb}{Pa} \times 100$	28.3%
ESPECIFICACIÓN : MENOR DE	40

CUMPLE SI NO

TAMAÑO SESO Y GRADACIÓN DE LA MUESTRA, G.M.S.								
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	# 3			2500				
# 3	# 4			2500				
# 4	# 8				5000			
No. DE ESFERAS		12	11	8	6	12	12	12
No. DE REVOLUCIONES		500	500	500	500	1000	1000	1000



George Alejandro Barrantes Villanueva
ING. DE MATERIALES
R. CIP. N° 197384

Juan Pablo II s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 18: Adherencia en bandeja



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE CERÁMICOS Y SUELOS



ADHERENCIA EN BANDEJA
I.N.V.E740-07

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFTALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
SOLICITANTE: CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
UBICACIÓN : VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Datos	1	2	3
Cantidad de muestra	50	50	50
Cantidad de cemento asf mL	100	100	100
Tem CA	140 ° C	140 ° C	140 ° C
# de partículas recubiertas	47	48	47
# de partículas no recubiertas	2	2	2
Adherencia (%)	96	96	96
Adherencia (%)	96		



Alejandro Barrantes Villanueva
DE MATERIALES
CIP. N° 197384

Juan Pablo II s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N°19: *Humedad del agregado grueso*



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE CERÁMICOS Y SUELOS



HUMEDAD NATURAL DE AGREGADO GRUESO ASTM C 566	
PROYECTO	“INFLUENCIA DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO EN LAS PROPIEDADES FISICAS –MECANICAS DE UNA MEZCLA ASFALTICA, TRUJILLO 2021”
SOLICITANTE	CABREJOS NIETO LUZ PAMELA VIGO FLORES MARCO MIGUEL JUNIOR
CANTERA	CANTERA SULCA– EL MILAGRO
UBICACIÓN	TRUJILLO - LA LIBERTAD
FECHA	JUNIO DEL 2021

DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRAS		
		M-1	M-2	M-3
Peso de tara	g	86.13	76.08	70.65
Peso de la muestra natural	g	98.01	109.36	124.69
Peso de muestra seca + Tara	g	183.89	185.30	195.11
Contenido de humedad	%	0.3	0.1	0.2
Promedio	%	0.2		



George Alejandro Barrantes Villanueva
ING. DE MATERIALES
R. CIP. N° 197384

Juan Pablo II s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 20: Granulometría del agregado fino

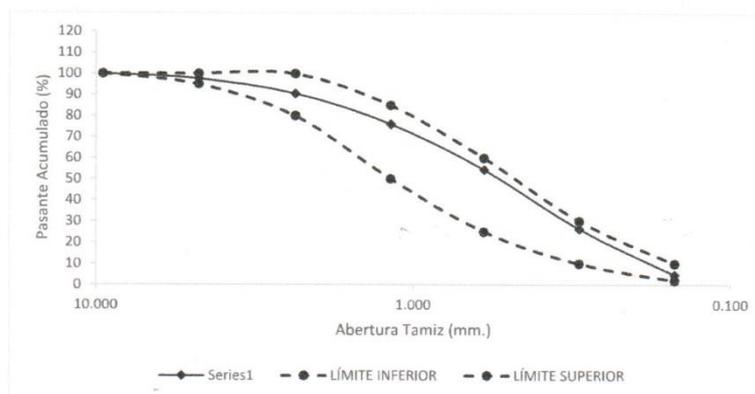


UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE CERÁMICOS Y SUELOS



GRANULOMETRIA DE AGREGADO FINO ASTM C 136	
PROYECTO	“INFLUENCIA DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO EN LAS PROPIEDADES FISICAS –MECANICAS DE UNA MEZCLA ASFALTICA, TRUJILLO 2021”
SOLICITANTE	CABREJOS NIETO LUZ PAMELA VIGO FLORES MARCO MIGUEL JUNIOR
CANTERA	CANTERA SULCA– EL MILAGRO
UBICACIÓN	TRUJILLO - LA LIBERTAD
FECHA	JUNIO DEL 2021

TAMIZ	ABERTURA (mm.)	PESO TAMIZ (g.)	TAMIZ + MUESTRA (g.)	PESO RETENIDO (g.)	PARCIAL RETENIDO (%)	ACUMULADO (%)	
						RETENIDO	PASANTE
3/8"	9.500			0.00	0	0	100
Nº4	4.750	190.01	214.00	23.99	2	2	98
Nº8	2.360	171.58	246.51	74.93	7	9	91
Nº16	1.180	127.98	280.00	152.02	14	24	76
Nº30	0.600	124.19	350.00	225.81	22	45	55
Nº50	0.300	123.31	420.00	296.69	28	74	26
Nº100	0.150	115.05	340.00	224.95	21	95	5
Nº200	0.075	246.83	284.54	37.71	4	99	1
FONDO		218.74	231.51	12.77	1	100	0
PESO TOTAL				1048.87	100		
				M. FINURA	2.5		



Inge. Alejandro Barrantes Villanueva
ING. DE MATERIALES
CIP. N° 197384

Juan Pablo II s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 21: Absorción y peso específico del agregado fino



PESO ESPECIFICO Y ABSORCION AGREGADO FINO ASTM C 128	
PROYECTO	“INFLUENCIA DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO EN LAS PROPIEDADES FISICAS –MECANICAS DE UNA MEZCLA ASFALTICA, TRUJILLO 2021”
SOLICITANTE	CABREJOS NIETO LUZ PAMELA VIGO FLORES MARCO MIGUEL JUNIOR
CANTERA	CANTERA SULCA– EL MILAGRO
UBICACIÓN	TRUJILLO - LA LIBERTAD
FECHA	JUNIO DEL 2021

1. PESO ESPECIFICO

DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRAS		
		M-1	M-2	M-3
Volumen de agua en la fiola	cm ³	500	500	500
Peso de la fiola (limpio y seco)	g	182.41	183.03	179.46
B = Peso de la fiola + Agua	g	680.63	681.56	680.09
Peso de la fiola + Peso muestra SSS	g	565.77	560.01	562.51
C = Peso de la fiola + Peso muestra SSS + Agua	g	921.35	923.14	922.14
Peso del agua (5-4)	g	355.58	363.13	359.63
Peso de recipiente	g	89.98	85.1	88.03
Recipiente + Muestra seca	g	464.7	451.92	461.13
A = Peso de la muestra secada al horno	g	374.72	366.82	373.1
S = Peso de la muestra SSS (4-2)	g	383.36	376.98	383.05
Peso específico de masa SSS	kg/m ³	2688	2784	2717
Peso específico aparente	kg/m ³	2796	2929	2847
Peso específico de masa	kg/m ³	2627	2709	2646
Promedio peso específico de masa	kg/m ³	2661		
Peso específico de masa:	2661	kg/m³		

2. ABSORCION

DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRA		
		M-1	M-2	383.05
S = Peso de la muestra SSS	g	383.36	376.98	383.05
A = Peso de la muestra secada al horno	g	382.4	375.55	381.4
Porcentaje de absorción (%)	%	0.3	0.4	0.4
Promedio	%	0.4		



Jorge Alejandro Barrantes Villanueva
ING. DE MATERIALES
CIP: N° 197384

Juan Pablo II s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 22: Arena equivalente



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE CERÁMICOS Y SUELOS



ARENA EQUIVALENTE NTP 339.146	
PROYECTO	“INFLUENCIA DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO EN LAS PROPIEDADES FISICAS –MECANICAS DE UNA MEZCLA ASFALTICA, TRUJILLO 2021”
SOLICITANTE	CABREJOS NIETO LUZ PAMELA VIGO FLORES MARCO MIGUEL JUNIOR
CANTERA	CANTERA SULCA– EL MILAGRO
UBICACIÓN	TRUJILLO - LA LIBERTAD
FECHA	JUNIO DEL 2021

Datos	1	2	3
Hora de Inicio	10:30	11:40	12:10
Hora de termino	11:00	12:10	12:40
Lectura total	4	4	4
Lectura de arena	3.8	3.8	3.8
Equi. arena(%)	9	95	95
Promedio Equi. arena(%)	95		



Jorge Alejandro Barrantes Villanueva
ING. DE MATERIALES
R/CIP. N° 197384

Juan Pablo II s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 23: Durabilidad de los agregados



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE CERÁMICOS Y SUELOS



DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS POR MEDIO DE SO₂Mg
ASTM - C88 (MTC E 209)

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETILENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DE UNA MEZCLA ASFALTICA, TRUJILLO 2021

SOLICITANTE : CABREJOS NIETO LUZ PAMELA
: VIGO FLORES MARCO MIGUEL JUNIOR

AGREGADO GRUESO							
% PASA	% RET	N° RECIPIENTE	PESOS DE ENSAYO (gr)		% DE PÉRDIDA DE ENSAYO	ESCALONADO ORIGINAL	% DE PÉRDIDA CORREGIDA
			ANTES	DESPUÉS			
2"	1 1/2"	D-1	-	-	-	-	-
1 1/2"	1"	D-2	-	-	-	-	-
1"	3/4"	D-3	2500.0	2439.5	2.46	14	0.34
3/4"	1/2"	D-4	1000.0	956.8	4.32	16	0.69
1/2"	3/8"	D-5	500.0	467.2	6.56	11	0.72
3/8"	N°4	D-6	300.0	278.0	7.33	25	1.83
TOTAL :						66.00	3.58

CANTERA (ARENA)

AGREGADO FINO							
% PASA	% RET	N° RECIPIENTE	PESOS DE ENSAYO (gr)		% DE PÉRDIDA DE ENSAYO	ESCALONADO ORIGINAL	% DE PÉRDIDA CORREGIDA
			ANTES	DESPUÉS			
3/8"	N°4	1A	100.0	86.4	13.60	17	2.31
N°4	N°8	2A	100.0	85.2	14.80	19	2.81
N°8	N°16	5A	100.0	80.5	19.50	19	3.71
N°16	N°30	3A	100.0	83.9	16.10	19	3.06
N°30	N°50	4A	100.0	91.8	8.20	8	0.74
N°50	N°100					7	0.00
N°100	--					10	0.00
TOTAL :						100.00	12.63

NOTA : Interpretación ajena a estos resultados es responsabilidad de los interesados



Ing. Alejandro Barrantes Villanueva
ING. DE MATERIALES
CIP. N° 197384

Juan Pablo II s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 24: Humedad del agregado fino



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE CERÁMICOS Y SUELOS



HUMEDAD NATURAL DE AGREGADO FINO ASTM C 566	
PROYECTO	“INFLUENCIA DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO EN LAS PROPIEDADES FISICAS –MECANICAS DE UNA MEZCLA ASFALTICA, TRUJILLO 2021”
SOLICITANTE	CABREJOS NIETO LUZ PAMELA VIGO FLORES MARCO MIGUEL JUNIOR
CANTERA	CANTERA SULCA– EL MILAGRO
UBICACIÓN	TRUJILLO - LA LIBERTAD
FECHA	JUNIO DEL 2021

DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRAS		
		M-1	M-2	M-3
Peso de tara	g	64.18	72.30	75.01
Peso de la muestra natural	g	86.81	88.27	82.87
Peso de muestra seca + Tara	g	149.02	158.53	156.09
Contenido de humedad	%	2.3	2.4	2.2
Promedio	%	2.3		



Jorge Alejandro Barrantes Villanueva
ING. DE MATERIALES
CIP. N° 197384

Juan Pablo II s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 24: Granulometría de la combinación de agregados



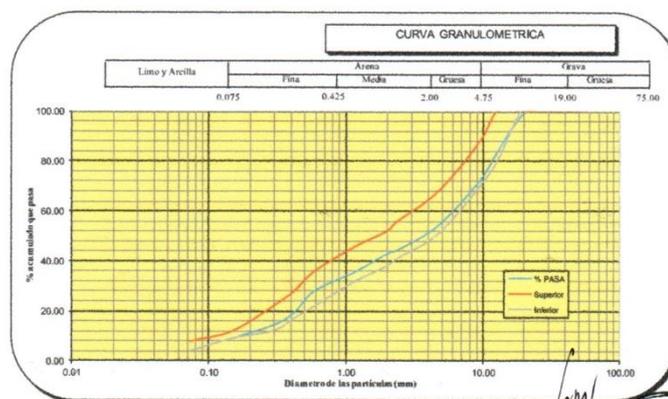
UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE CERÁMICOS Y SUELOS



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
ASTM D 422

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TERFTALATO DE POLIETILENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : MEZCLA ASFÁLTICA
UBICACIÓN : TRUJILLO - LA LIBERTAD
SOLICITADO : CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR

Peso Original (gr)		800				Especificación MPC - 2	
Pérdida por Lavado		42.25				Límites	
PESO TAMEADO		757.75				Superior	Inferior
ABERT. MALLA		PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RET ACUMULADO	% PASA	% Pasa	% Pasa
Pulg/malla	mm						
2"	50.800						
1"	25.400				100.00		
3/4"	19.050	1.65	0.22	0.22	100.00	100.00%	100.00%
1/2"	12.700	11.64	1.54	1.75	98.25	100.00%	80.00%
3/8"	9.525	110.58	14.59	16.35	83.65	88.00%	70.00%
N° 4	4.750	84.61	11.17	27.51	72.49	68.00%	51.00%
N° 5	2.381	136.56	18.02	45.54	54.46		
N° 10	2.000	75.62	9.98	55.52	44.48	52.00%	38.00%
N° 16	1.191	11.54	1.52	57.04	42.96		
N° 30	0.595	53.65	7.08	64.12	35.88		
N° 40	0.420	58.64	7.74	71.86	28.14	28.00%	17.00%
N° 50	0.296	66.39	8.76	80.62	19.38		
N° 100	0.149	38.21	5.04	85.66	14.34		
N° 200	0.074	41.29	5.45	91.11	8.89	8.00%	4.00%
Plato		67.35	8.89	100.00			
Sumatoria		757.75	100.00			W _{orig} = 800	W _{lav} = 757.75
SUCS			SP			%A _{ef} = 5.28	



Jorge Alejandro Barrantes
ING. DE MATERIALES
R/CIP N° 1973



Juan Pablo II s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 25: Porcentaje de vacíos y densidad 40% grava + 60% arena + 5% C.A.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE CERÁMICOS Y SUELOS



PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS
ASFÁLTICAS Y DENSIDAD
NORMA ASTM D- 3203

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 5.0% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE : CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	261.1	263.1	253.0
Masa del espécimen + parafina (g)	275.5	279.4	270.1
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	141.3	143.6	140.3
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.190	2.214	2.259
GS aparente promedio	2.221		

Peso específico teórico

Peso del picnómetro (g)	2514
Peso del picnómetro + mezcla asfáltica (g)	4125
Peso de la mezcla (g)	1611
Temperatura de la prueba (°C)	22
Peso del picnómetro con mezcla aforado (g)	8641
Peso del picnómetro calibrado a la T° de prueba (g)	7725
GS teórico máximo	2.318

Porcentaje de vacío de aire (%)	4.192
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.214



Jorge Alejandro Barrantes Villanueva
ING. DE MATERIALES
R. CIP. N° 197384

Juan Pablo II s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 26: Porcentaje de vacíos y densidad 40% grava + 60% arena + 5.5% C.A.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE CERÁMICOS Y SUELOS



PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS
ASFÁLTICAS Y DENSIDAD
NORMA ASTM D- 3203

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 5.5% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE: CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
UBICACIÓN : VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	231.5	237.2	251.1
Masa del espécimen + parafina (g)	259.5	258.4	271.0
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	132.4	134.2	138.5
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.364	2.323	2.247
GS aparente promedio	2.311		

Peso específico teórico

Peso del picnómetro (g)	2514
Peso del picnómetro + mezcla asfáltica (g)	4200
Peso de la mezcla (g)	1686
Temperatura de la prueba (°C)	22
Peso del picnómetro con mezcla aforado (g)	8711
Peso del picnómetro calibrado a la T° de prueba (g)	7725
GS teórico máximo	2.409

Porcentaje de vacío de aire (%)	4.042
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.304



Jorge Alejandro Barrantes Villanueva
ING. DE MATERIALES
CIP. N° 197384

Juan Pablo II s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 27: Porcentaje de vacíos y densidad 40% grava + 60% arena + 6% C.A.



PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS
ASFÁLTICAS Y DENSIDAD
NORMA ASTM D- 3203

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 6.0% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE: CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
UBICACIÓN : VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	230.4	250.1	211.2
Masa del espécimen + parafina (g)	244.8	263.9	232.5
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	128.4	138.6	124.3
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.272	2.255	2.455
GS aparente promedio	2.327		

Peso específico teórico

Peso del picnómetro (g)	2514
Peso del picnómetro + mezcla asfáltica (g)	4178
Peso de la mezcla (g)	1664
Temperatura de la prueba (°C)	22
Peso del picnómetro con mezcla aforado (g)	8698
Peso del picnómetro calibrado a la 1" de prueba (g)	7725
GS teórico máximo	2.408

Porcentaje de vacío de aire (%)	3.356
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.320



Jorge Alejandro Barrantes Villanueva
ING./DE MATERIALES
R. CIP. N° 197384

Anexo N° 28: Porcentaje de vacíos y densidad 40% grava + 60% arena + 6.5% C.A.



PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS
ASFÁLTICAS Y DENSIDAD
NORMA ASTM D- 3203

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 6.5% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE: CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
UBICACIÓN : VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	227.1	225.2	195.2
Masa del espécimen + parafina (g)	243.2	248.1	212.2
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	129.2	130.1	110.4
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.336	2.392	2.322
GS aparente promedio	2.350		

Peso específico teórico

Peso del picnómetro (g)	2514
Peso del picnómetro + mezcla asfáltica (g)	4159
Peso de la mezcla (g)	1645
Temperatura de la prueba (°C)	22
Peso del picnómetro con mezcla aforado (g)	8694
Peso del picnómetro calibrado a la T° de prueba (g)	7725
GS teórico máximo	2.433

Porcentaje de vacío de aire (%)	3.426
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.343



Anexo N° 29: Porcentaje de vacíos y densidad 40% grava + 60% arena + 7% C.A.



PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS
ASFÁLTICAS Y DENSIDAD
NORMA ASTM D- 3203

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 7.0% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE: CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
UBICACIÓN : VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	231.7	249.3	221.2
Masa del espécimen + parafina (g)	247.2	269.4	231.9
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	128.4	140.4	121.6
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.258	2.307	2.232
GS aparente promedio	2.266		

Peso específico teórico

Peso del picnómetro (g)	2514
Peso del picnómetro + mezcla asfáltica (g)	4137
Peso de la mezcla (g)	1623
Temperatura de la prueba (°C)	22
Peso del picnómetro con mezcla aforado (g)	8657
Peso del picnómetro calibrado a la 1" de prueba (g)	7725
GS teórico máximo	2.349

Porcentaje de vacío de aire (%)	3.528
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.259



Alexandro Barrantes Villanueva
ING. DE MATERIALES
CIP. N° 197384

Anexo N° 30: Porcentaje de vacíos y densidad 40% grava + 60% arena + 7.5% C.A.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE CERÁMICOS Y SUELOS



PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS
ASFÁLTICAS Y DENSIDAD
NORMA ASTM D- 3203

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFTALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 7.5% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE: CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
UBICACIÓN : VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	230.1	228.1	325.3
Masa del espécimen + parafina (g)	252.5	249.1	343.5
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	120.4	131.4	182.2
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.114	2.381	2.285
GS aparente promedio	2.260		

Peso específico teórico

Peso del picnómetro (g)	2514
Peso del picnómetro + mezcla asfáltica (g)	4142
Peso de la mezcla (g)	1628
Temperatura de la prueba (°C)	22
Peso del picnómetro con mezcla aforado (g)	8664
Peso del picnómetro calibrado a la T° de prueba (g)	7725
GS teórico máximo	2.363

Porcentaje de vacío de aire (%)	4.346
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.253



Jorge Alejandro Barrantes Villanueva
ING. DE MATERIALES
CIP. N° 197384

Anexo N° 31: Porcentaje de vacíos y densidad 60% grava + 40% arena + 5% C.A.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE CERÁMICOS Y SUELOS



PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS
ASFÁLTICAS Y DENSIDAD
NORMA ASTM D- 3203

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 60% GRAVA + 40% ARENA + 5.0% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE: CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	237.1	262.5	259.4
Masa del espécimen + parafina (g)	256.4	288.3	268.1
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	132.9	149.5	141.3
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.292	2.345	2.203
GS aparente promedio	2.280		

Peso específico teórico

Peso del picnómetro (g)	2514
Peso del picnómetro + mezcla asfáltica (g)	4289
Peso de la mezcla (g)	1775
Temperatura de la prueba (°C)	22
Peso del picnómetro con mezcla aforado (g)	8761
Peso del picnómetro calibrado a la T° de prueba (g)	7725
GS teórico máximo	2.402

Porcentaje de vacío de aire (%)	5.083
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.273



Jorge Alejandro Barrantes Villanueva
ING. DE MATERIALES
R. C.I.P. N° 197384

Anexo N° 32: Porcentaje de vacíos y densidad 60% grava + 40% arena + 5.5% C.A.



PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS
ASFÁLTICAS Y DENSIDAD
NORMA ASTM D- 3203

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 60% GRAVA + 40% ARENA + 5.5% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE: CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	231.4	271.4	227.3
Masa del espécimen + parafina (g)	250.7	278.1	237.8
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	134.6	153.2	129.1
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.410	2.302	2.324
GS aparente promedio	2.346		

Peso específico teórico

Peso del picnómetro (g)	2514
Peso del picnómetro + mezcla asfáltica (g)	4310
Peso de la mezcla (g)	1796
Temperatura de la prueba (°C)	22
Peso del picnómetro con mezcla aforado (g)	8780
Peso del picnómetro calibrado a la T° de prueba (g)	7725
GS teórico máximo	2.424

Porcentaje de vacío de aire (%)	3.224
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.339



Jorge Alejandro Barrantes Villanueva
ING. DE MATERIALES
CIP. N° 197384

Anexo N° 33: Porcentaje de vacíos y densidad 60% grava + 40% arena + 6% C.A.



PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS
ASFÁLTICAS Y DENSIDAD
NORMA ASTM D- 3203

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETILENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 60% GRAVA + 40% ARENA + 6.0% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE: CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
UBICACIÓN : VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	265.5	258.4	310.1
Masa del espécimen + parafina (g)	278.7	285.8	323.7
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	148.3	152.0	175.4
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.276	2.454	2.312
GS aparente promedio	2.347		

Peso específico teórico

Peso del picnómetro (g)	2514
Peso del picnómetro + mezcla asfáltica (g)	4334
Peso de la mezcla (g)	1820
Temperatura de la prueba (°C)	22
Peso del picnómetro con mezcla aforado (g)	8796
Peso del picnómetro calibrado a la 1° de prueba (g)	7725
GS teórico máximo	2.430

Porcentaje de vacío de aire (%)	3.408
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.340



Alejandro Barrantes Villanueva
ING. DE MATERIALES
ZIP. N° 197384

Juan Pablo II s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 34: Porcentaje de vacíos y densidad 60% grava + 40% arena + 6.5% C.A.



PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS
ASFÁLTICAS Y DENSIDAD
NORMA ASTM D- 3203

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 60% GRAVA + 40% ARENA + 6.5% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE: CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
UBICACIÓN : VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	280.1	250.5	210.4
Masa del espécimen + parafina (g)	294.2	269.4	235.2
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	152.3	141.1	123.8
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.201	2.306	2.457
GS aparente promedio	2.321		

Peso específico teórico

Peso del picnómetro (g)	2514
Peso del picnómetro + mezcla asfáltica (g)	4306
Peso de la mezcla (g)	1792
Temperatura de la prueba (°C)	22
Peso del picnómetro con mezcla aforado (g)	8778
Peso del picnómetro calibrado a la T° de prueba (g)	7725
GS teórico máximo	2.425

Porcentaje de vacío de aire (%)	4.265
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.315



Jorge Alejandro Barrantes Villanueva
ING. DE MATERIALES
CIP. N° 197384

Anexo N° 35: Porcentaje de vacíos y densidad 60% grava + 40% arena + 7% C.A.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE CERÁMICOS Y SUELOS



PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS
ASFÁLTICAS Y DENSIDAD
NORMA ASTM D- 3203

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 60% GRAVA + 40% ARENA + 7.0% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE: CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	280.2	225.4	221.2
Masa del espécimen + parafina (g)	292.5	238.8	241.6
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	154.5	128.3	127.2
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.238	2.335	2.374
GS aparente promedio	2.316		

Peso específico teórico

Peso del picnómetro (g)	7514
Peso del picnómetro + mezcla asfáltica (g)	4291
Peso de la mezcla (g)	1777
Temperatura de la prueba (°C)	22
Peso del picnómetro con mezcla aforado (g)	8770
Peso del picnómetro calibrado a la T° de prueba (g)	7725
GS teórico máximo	2.428

Porcentaje de vacío de aire (%)	4.601
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.309



Jorge Alejandro Barrantes Villanueva
ING./DE MATERIALES
R. CIP. N° 197384

Juan Pablo II s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 36: Porcentaje de vacíos y densidad 60% grava + 40% arena + 7.5% C.A.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE CERÁMICOS Y SUELOS



PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS
ASFÁLTICAS Y DENSIDAD
NORMA ASTM D- 3203

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 60% GRAVA + 40% ARENA + 7.5% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE: CABREJOS NIETO, LIZ PAMELA
VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	218.2	224.9	242.1
Masa del espécimen + parafina (g)	231.5	249.5	260.5
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	120.4	129.1	134.8
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.243	2.372	2.273
GS aparente promedio	2.296		

Peso específico teórico

Peso del picnómetro (g)	2514
Peso del picnómetro + mezcla asfáltica (g)	4300
Peso de la mezcla (g)	1786
Temperatura de la prueba (°C)	22
Peso del picnómetro con mezcla aforado (g)	8774
Peso del picnómetro calibrado a la T° de prueba (g)	7725
GS teórico máximo	2.423

Porcentaje de vacío de aire (%)	5.258
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.289



Jorge Alejandro Barrantes Villanueva
ING. DE MATERIALES
R. C.I.P. N° 197384

Juan Pablo II s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 37: Porcentaje de vacíos y densidad 40% grava + 60% arena + 6% C.A. + 0.5% PET



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE CERÁMICOS Y SUELOS



**PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS
ASFÁLTICAS Y DENSIDAD
NORMA ASTM D- 3203**

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 6.0% CEMENTO ASFÁLTICO+ 0.5% FIBRA
SOLICITANTE: CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
UBICACIÓN : VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	264.5	261.2	254.1
Masa del espécimen + parafina (g)	277.2	279.8	271.5
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	142.2	144.4	142.6
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.173	2.250	2.284
GS aparente promedio	2.239		

Peso específico teórico

Peso del picnómetro (g)	2514
Peso del picnómetro + mezcla asfáltica (g)	4138
Peso de la mezcla (g)	1624
Temperatura de la prueba (°C)	22
Peso del picnómetro con mezcla aforado (g)	8654
Peso del picnómetro calibrado a la T° de prueba (g)	7725
GS teórico máximo	2.337

Porcentaje de vacío de aire (%)	4.164
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.233



Jm
Jorge Alejandro Barrantes Villanueva
ING. DE MATERIALES
R. CIP. N° 197384

Juan Pablo II s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 38: Porcentaje de vacíos y densidad 40% grava + 60% arena + 6% C.A. + 1% PET



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE CERÁMICOS Y SUELOS



**PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS
ASFÁLTICAS Y DENSIDAD
NORMA ASTM D- 3203**

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 6.0% CEMENTO ASFÁLTICO+ 1.0% FIBRA
SOLICITANTE: CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	264.2	258.2	252.2
Masa del espécimen + parafina (g)	277.2	279.8	271.5
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	143.5	142.9	145.2
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.198	2.258	2.376
GS aparente promedio	2.277		

Peso específico teórico

Peso del picnómetro (g)	2514
Peso del picnómetro + mezcla asfáltica (g)	4145
Peso de la mezcla (g)	1631
Temperatura de la prueba (°C)	22
Peso del picnómetro con mezcla aforado (g)	8662
Peso del picnómetro calibrado a la T° de prueba (g)	7725
GS teórico máximo	2.350

Porcentaje de vacío de aire (%)	3.095
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.271



Jorge Alejandro Barrantes Villanueva
ING. DE MATERIALES
CIP. N° 197384

Juan Pablo II s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 39: Porcentaje de vacíos y densidad 40% grava + 60% arena + 6% C.A. + 1.5% PET



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE CERÁMICOS Y SUELOS



**PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS
ASFÁLTICAS Y DENSIDAD
NORMA ASTM D- 3203**

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 6.0% CEMENTO ASFÁLTICO+ 1.5% FIBRA
SOLICITANTE: CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
UBICACIÓN : VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	231.2	241.1	214.1
Masa del espécimen + parafina (g)	248.0	270.4	232.9
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	127.5	138.5	120.9
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.245	2.378	2.318
GS aparente promedio	2.314		

Peso específico teórico

Peso del picnómetro (g)	2514
Peso del picnómetro + mezcla asfáltica (g)	4157
Peso de la mezcla (g)	1643
Temperatura de la prueba (°C)	22
Peso del picnómetro con mezcla aforado (g)	8685
Peso del picnómetro calibrado a la T° de prueba (g)	7725
GS teórico máximo	2.406

Porcentaje de vacío de aire (%)	3.826
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.307



Jorge Alejandro Barrantes Villanueva
ING. DE MATERIALES
R. C.I.P. N° 197384

Juan Pablo II s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 40: Ensayo Marshall estabilidad y flujo 40% grava + 60% arena + 5% C.A



ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 5% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE : CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
UBICACIÓN : VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	DZ	D	H1	HZ	H	CARGA			DEFORMACIÓN	
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf	KN prom	mm
1	6.47	6.50	6.49	4.02	3.98	4.00	7.85	1764.76	800.46		9.81
2	6.50	6.48	6.49	4.06	4.05	4.06	7.96	1789.49	811.68	7.87	9.85
3	6.45	6.50	6.48	3.98	3.95	3.97	7.80	1753.52	795.37		9.82



Jorge Alejandro Barrientos Villanueva
ING. DE MATERIALES
R. CIP. N° 497384

Juan Pablo Il s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 41: Ensayo Marshall estabilidad y flujo 40% grava + 60% arena + 5.5% C.A



ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 5.5% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE: CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
UBICACIÓN : VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
 TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA			DEFORMACIÓN	
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf	KN prom	mm
1	6.50	6.48	6.49	3.66	3.60	3.63	8.01	1800.73	816.78	7.98	9.64
2	6.47	6.50	6.49	3.99	4.00	4.00	7.95	1787.24	810.66		9.70
3	6.50	6.52	6.51	3.41	3.43	3.42	7.97	1791.74	812.70		9.85



Juan Pablo Il s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 42: Ensayo Marshall estabilidad y flujo 40% grava + 60% arena + 6% C.A



ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETILENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 6.0% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE : CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
UBICACIÓN : VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1		D2	D	H1	H2	H	CARGA			DEFORMACIÓN	
	cm	KN	lbf	kgf	KN prom	mm						
1	6.45	6.50	6.48	3.55	3.54	3.55	8.15	1832.20	831.06	831.06	8.15	9.21
2	6.50	6.50	6.50	3.44	3.45	3.45	8.20	1843.44	836.15	836.15		9.08
3	6.48	6.50	6.49	4.70	4.80	4.75	8.11	1823.21	826.98	826.98		9.00



Jorge Alejandro Barrantes Villanueva
ING. DE MATERIALES
R. CIP. N° 197384

Juan Pablo Il s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N°43: Ensayo Marshall estabilidad y flujo 40% grava + 60% arena + 6.5% C.A



ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETILENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 6.5% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE: CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
UBICACIÓN : VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1 cm	D2 cm	D cm	H1 cm	H2 cm	H cm	CARGA			DEFORMACIÓN mm
							KN	lbf	kgf	
1	6.43	6.55	6.49	3.61	3.54	3.58	8.07	1814.22	827.90	9.89
2	6.46	6.48	6.47	3.60	3.61	3.61	8.05	1809.72	820.86	9.86
3	6.41	6.51	6.46	3.06	3.00	3.03	8.04	1807.47	819.84	9.75



Juan Pablo Il s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/ email: lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 44: Ensayo Marshall estabilidad y flujo 40% grava + 60% arena + 7% C.A



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE CERÁMICOS Y SUELOS

ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETILENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 7.0% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE : CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
UBICACIÓN : VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1 cm	D2 cm	D cm	H1 cm	H2 cm	H cm	CARGA			DEFORMACIÓN mm
							KN	lbf	kgf	
1	6.50	6.45	6.48	3.47	3.47	3.47	7.95	1787.24	810.66	9.97
2	6.46	6.50	6.48	3.64	3.64	3.64	7.87	1769.25	802.50	10.12
3	6.46	6.48	6.47	3.34	3.35	3.35	7.91	1778.25	806.58	10.20
										7.91



Jorge Alvarado Barrios Villanueva
ING. DE MATERIALES
IP N° 197384

Juan Pablo Il s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/ email: lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 45: Ensayo Marshall estabilidad y flujo 40% grava + 60% arena + 7.5% C.A



ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO :

INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS

MUESTRA :

DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021

SOLICITANTE:

40% GRAVA + 60% ARENA + 7.5% CEMENTO ASFÁLTICO

UBICACIÓN :

CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1 cm	D2 cm	D cm	H1 cm	H2 cm	H cm	CARGA			DEFORMACIÓN mm	
							KN	lbf	kgf		
1	6.46	6.42	6.44	3.63	3.59	3.61	7.54	1695.07	768.85	10.34	
2	6.45	6.42	6.44	3.62	3.62	3.62	7.50	1686.08	764.78	10.74	
3	6.50	6.49	6.50	3.87	3.83	3.85	7.58	1704.06	772.93	9.99	
							KN prom		7.54		



Juan Pablo Il s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/ email: lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 46: Marshall estabilidad y flujo 40% grava + 60% arena + 6% C.A + 0.5% PET



ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 6.0% CEMENTO ASFÁLTICO + 0.5% FIBRA
SOLICITANTE: CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
UBICACIÓN : VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
 TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA			DEFORMACIÓN	
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf	KN prom	mm
1	6.48	6.49	6.49	3.05	3.10	3.08	7.86	1767.01	801.48	7.84	9.28
2	6.51	6.52	6.52	3.10	3.15	3.13	7.80	1753.52	795.37		9.34
3	6.49	6.48	6.49	3.80	3.85	3.83	7.85	1764.76	800.46		9.30



Juan Pablo Il/s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/Email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 47: Marshall estabilidad y flujo 40% grava + 60% arena + 6% C.A + 1% PET



ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 6.0% CEMENTO ASFÁLTICO + 1.0% FIBRA
SOLICITANTE: CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
UBICACIÓN : VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA			DEFORMACIÓN	
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf	KN prom	mm
1	6.44	6.46	6.45	3.68	3.71	3.70	7.37	1656.85	751.52	7.47	8.57
2	6.46	6.48	6.47	3.43	3.40	3.42	7.54	1695.07	768.85		8.40
3	6.50	6.48	6.49	3.20	3.18	3.19	7.50	1686.08	764.78		7.99



Juan Pablo Il s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 48: Marshall estabilidad y flujo 40% grava + 60% arena + 6% C.A + 1.5% PET



ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 6.0% CEMENTO ASFÁLTICO + 1.5% FIBRA
SOLICITANTE: CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
UBICACIÓN : VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
 TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA				DEFORMACIÓN
	cm	cm	cm,	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf	KN prom	mm
1	6.52	6.52	6.52	3.02	3.00	3.01	8.45	1899.64	861.65	8.48	10.14
2	6.52	6.53	6.53	3.12	3.13	3.13	8.51	1913.13	867.76		10.21
3	6.50	6.48	6.49	3.98	3.90	3.94	8.48	1906.39	864.71		10.08



Juan Pablo II s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 49: Marshall estabilidad y flujo 60% grava + 40% arena + 5% C.A



ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 60% GRAVA + 40% ARENA + 5% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE: CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
UBICACIÓN : VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA			DEFORMACIÓN	
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf	KN prom	mm
1	6.53	6.50	6.52	3.69	3.70	3.70	5.48	1231.96	558.80	5.38	13.56
2	6.43	6.24	6.34	4.20	4.26	4.23	5.28	1187.00	538.40		13.24
3	6.59	6.51	6.55	3.81	3.84	3.83	5.39	1211.73	549.62		13.19



Juan Pablo Il s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales-UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 50: Marshall estabilidad y flujo 60% grava + 40% arena + 5.5% C.A



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE CERÁMICOS Y SUELOS



ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021

MUESTRA : 60% GRAVA + 40% ARENA + 5.5% CEMENTO ASFÁLTICO

SOLICITANTE : CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA

UBICACIÓN : VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA			DEFORMACIÓN	
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf	KN prom	mm
1	6.28	6.40	6.34	4.05	4.01	4.03	5.42	1218.47	552.68	5.47	12.75
2	6.45	6.32	6.39	3.51	3.52	3.52	5.51	1238.70	561.85		12.58
3	6.41	6.45	6.43	3.55	3.57	3.56	5.48	1231.96	558.80		12.67



Jorge Alejandro Barrientos Villanueva
ING. DE MATERIALES
CIP N° 197384

Juan Pablo Il s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales-UNTY/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 51: Marshall estabilidad y flujo 60% grava + 40% arena + 6% C.A




UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE CERÁMICOS Y SUELOS

ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETILENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021

MUESTRA : 60% GRAVA + 40% ARENA + 6.0% CEMENTO ASFÁLTICO

SOLICITANTE : CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA

UBICACIÓN : VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA			DEFORMACIÓN	
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf	KN prom	mm
1	6.26	6.40	6.33	4.10	4.01	4.06	5.50	1236.46	560.84	5.53	12.84
2	6.47	6.30	6.39	3.48	3.52	3.50	5.58	1254.44	568.99		12.76
3	6.38	6.48	6.43	3.54	3.57	3.56	5.52	1240.95	562.87		12.75



Jorge Alejandro Eguarriés Villanueva
ING. DE MATERIALES
CIP N° 197384

Juan Pablo Il s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales-UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 52: Marshall estabilidad y flujo 60% grava + 40% arena + 6.5% C.A



ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 60% GRAVA + 40% ARENA + 6.5% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE : CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
UBICACIÓN : VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA			DEFORMACIÓN	
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf	KN prom	mm
1	6.48	6.49	6.49	4.21	4.22	4.22	5.68	1276.92	579.19	5.64	12.58
2	6.42	6.51	6.47	3.88	3.83	3.86	5.60	1258.94	571.03		12.31
3	6.44	6.43	6.44	3.38	3.43	3.41	5.65	1270.18	576.13		12.45



Juan Pablo Il s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales-UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 53: Marshall estabilidad y flujo 60% grava + 40% arena + 7% C.A



ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 60% GRAVA + 40% ARENA + 7.0% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE: CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
UBICACIÓN : VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA			DEFORMACIÓN	
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf	KN prom	mm
1	6.48	6.49	6.49	3.58	3.58	3.58	5.42	1218.47	552.68	5.40	11.42
2	6.49	6.49	6.49	3.90	3.83	3.87	5.38	1209.48	548.60		11.08
3	6.50	6.51	6.51	3.68	3.59	3.64	5.40	1213.97	550.64		11.37



Juan Pablo Il s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales-UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 54: Marshall estabilidad y flujo 60% grava + 40% arena + 7.5% C.A



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE CERÁMICOS Y SUELOS

ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETILENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021

MUESTRA : 60% GRAVA + 40% ARENA + 7.5% CEMENTO ASFÁLTICO

SOLICITANTE : CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA

UBICACIÓN : VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA			DEFORMACIÓN	
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf	KN prom	mm
1	6.48	6.51	6.50	3.88	3.93	3.91	5.27	1184.75	537.38	5.22	10.11
2	6.42	6.41	6.42	4.02	3.99	4.01	5.25	1180.25	535.34		10.27
3	6.52	6.38	6.45	4.78	4.73	4.76	5.14	1155.52	524.13		10.09



Dr. Alejandro Barrios Villanueva
C.E. DE MATERIALES
CIP N° 197384

Juan Pablo Il s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales-UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 55: Ensayo flexión 40% grava + 60% arena + 6% C.A.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE CERÁMICOS Y SUELOS



ENSAYO DE FLEXIÓN
ASTM C 293

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 6.0% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE: CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Número	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Separación entre apoyos (cm)	Carga máxima (KN)	σ flexión (N/mm ²)	σ flexión promedio (N/mm ²)
1	16.50	5.40	4.10	11.55	1.24	2.367	2.432
2	16.45	5.35	4.10	11.52	1.30	2.497	



[Signature]
orge Alejandro Barrantes Villanueva
ING. DE MATERIALES
CIP. N° 197384

Juan Pablo II s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N°56: Ensayo flexión 40% grava + 60% arena + 6% C.A. + 1.5% PET



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE CERÁMICOS Y SUELOS



ENSAYO DE FLEXIÓN
ASTM C 293

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 6.0% CEMENTO ASFÁLTICO + 1.5% FIBRA
SOLICITANTE: CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Número	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Separación entre apoyos (cm)	Carga máxima (KN)	σ flexión (N/mm ²)	σ flexión promedio (N/mm ²)
1	16.50	5.10	4.04	11.55	1.95	4.059	4.57
2	16.40	4.00	3.99	11.48	1.88	5.084	

Jorge Alejandro Barrantes Villanueva
ING. DE MATERIALES
R. OIT. N° 197384



Juan Pablo II s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 57: Ensayo flexión 40% grava + 60% arena + 6% C.A. + 1% PET



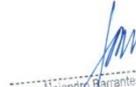
UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE CERÁMICOS Y SUELOS



ENSAYO DE FLEXIÓN
ASTM C 293

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 6.0% CEMENTO ASFÁLTICO + 1.0% FIBRA
SOLICITANTE: CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Número	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Separación entre apoyos (cm)	Carga máxima (KN)	σ flexión (N/mm ²)	σ flexión promedio (N/mm ²)
1	16.50	5.50	4.20	11.55	3.15	5.625	7.287
2	16.25	4.65	4.10	11.38	4.10	8.950	


Jorge Alejandro Barrientes Villanueva
ING. DE MATERIALES
R. C. N° 197284



Juan Pablo II s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com

Anexo N° 58: Ensayo flexión 40% grava + 60% arena + 6% C.A. + 0.5% PET



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE CERÁMICOS Y SUELOS



ENSAYO DE FLEXIÓN
ASTM C 293

PROYECTO : INFLUENCIA DEL TEREFALATO DE POLIETIENO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 6.0% CEMENTO ASFÁLTICO + 0.5% FIBRA
SOLICITANTE: CABREJOS NIETO, LUZ PAMELA
UBICACIÓN : VIGO FLORES, MARCO MIGUEL JUNIOR
TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Número	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Separación entre apoyos (cm)	Carga máxima (KN)	σ flexión (N/mm ²)	σ flexión promedio (N/mm ²)
1	16.45	5.45	4.10	11.52	1.58	2.979	2.941
2	16.30	4.70	4.10	11.41	1.34	2.903	


Jorge Alejandro Barrantes Villanueva
ING. DE MATERIALES
R. O. P. N° 197384



Juan Pablo II s/n Ciudad Universitaria-Ing de Materiales- UNT/email:lab.ceramicos.unt@gmail.com