



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS – MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Elmer Raul Burgos Alvarez

Juan Daniel Rodríguez Neyra

Asesor:

Ing. Germán Sagástegui Vásquez

Trujillo - Perú

2022

DEDICATORIA

A mi padre Jorge Rodríguez y en especial a mi madre Lilia Neyra que fue ella la fuente de inspiración de lograr este objetivo que sin sus consejos y apoyo incondicional nada hubiera logrado.

A mis hermanos Lenin y Marx que creyeron en mí y en especial a mis hermanos Miguel, Manuel y David que fueron con quienes pasé y conviví todo el tiempo de mi carrera siendo tres pilares en mi vida los que me apoyaron día, tarde y noche.

Juan Daniel Rodríguez Neyra

Dedico este trabajo a mis padres Antero Burgos y Diana Alvarez, por ser los pilares de mi vida, ya que son las personas que guiaron y apoyaron mi camino hacia mi formación personal y profesional. A mis hermanos Víctor y Jorge, por darme fuerzas, entusiasmo y motivación para poder culminar con éxito mi tesis profesional.

Elmer Raul Burgos Alvarez.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios y al Apóstol Santiago que me permitieron cumplir un objetivo más de mi vida, sin la guía y la encomendación de ellos no hubiera sido posible terminar esta maravillosa etapa de mi vida.

Agradecer también a cada uno de mis maestros por brindarme sus conocimientos sobre esta maravillosa carrera. Además, quiero agradecer a mi asesor por el apoyo y ser guía de esta investigación. A mi compañero y amigo de tesis Raúl.

Juan Daniel Rodríguez Neyra

Agradezco la confianza ofrecida por mis padres y hermanos. A la **UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE** y a los docentes que me acompañaron durante toda mi etapa de formación profesional, brindándome asesoramientos siempre con profesionalismo ético en la adquisición de conocimiento y fortalecimiento de mi formación universitaria, porque cada uno, con sus valiosas contribuciones, me ha ayudado a crecer como persona y como profesional. también quiero agradecer a mi asesor por el apoyo brindado durante toda la etapa de esta investigación. A mi compañero y amigo de tesis Daniel

Elmer Raul Burgos Alvarez

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
TABLA DE CONTENIDOS	4
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 Realidad problemática.....	10
1.2 Antecedentes de la investigación	13
1.2.1 Bases teóricas	17
1.2.2 Clasificación de las mezclas asfálticas.....	20
1.2.3 Consideraciones en el diseño de mezcla	22
1.2.4 Asfaltos modificados.....	23
1.2.5 Comportamiento de las mezclas asfálticas en caliente modificadas con caucho reciclado.....	24
1.2.6 Mezclas asfálticas con la incorporación de granos de caucho reciclado ...	25
1.2.7 Aplicación del grano de caucho en pavimentos.....	28
1.2.8 Diseños de mezcla asfálticas.....	29
1.2.9 Método Marshall para mezclas de granulometría densa	34
1.2.10 Pavimentos flexibles	36
1.3 Justificación del problema.....	36
1.4 Formulación del problema	37
1.5 Objetivos	37
1.6 Hipótesis.....	37
1.6.1 Hipótesis general.....	37
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	38
2.1 Tipo de investigación	38
2.1.1 Por el propósito	38
2.1.2 Según el diseño	38

2.1.3	Según la naturaleza de datos de la investigación	38
2.2	Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)	38
2.2.1	Población:.....	38
2.2.2	Muestra:	38
2.3	Variables.....	39
2.3.1	Variable independiente	39
2.3.2	Variable dependiente.....	39
2.4	Operacionalización de variables.....	40
2.5	Materiales	41
2.5.1	Agregado grueso	41
2.5.2	Agregado fino	41
2.5.3	Cemento asfáltico.....	41
2.5.4	Partículas de caucho reciclado	42
2.6	Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	42
2.6.1	Técnicas para la recolección de datos	43
2.6.2	Instrumentos para la recolección de datos	43
2.7	Métodos.....	46
2.8	Procedimiento.....	46
2.8.1	Granulometría	46
2.8.2	Método Marshall	51
2.9	Análisis estadístico.....	53
2.10	Aspectos éticos.....	64
CAPÍTULO III. RESULTADOS		66
3.1	Granulometría.....	66
3.2	Método Marshall	66
3.3	Comparación de resultados para mezclas asfálticas convencionales y modificadas con caucho.....	87
3.4	Análisis de costos ejecución-mantenimiento de mezclas convencionales y mezclas modificadas con caucho	89
3.4.1	Análisis de costo unitario de carpeta asfáltica (mezcla convencional).....	90
3.4.2	Análisis de costo unitario de carpeta asfáltica (modificada con caucho) ..	90
3.4.3	Costo para ejecutar un tramo de carpeta asfáltica 1 km con ancho 3.40 m de calzada.....	91
3.4.4	Costo de mantenimiento periódico de carpetas asfálticas.....	92

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	93
4.1 Discusión.....	93
4.2 Conclusiones	96
4.3 Recomendaciones.....	97
REFERENCIAS	99
ANEXOS.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Granulometría de agregado fino	48
Tabla 2: Granulometría de agregado grueso	49
Tabla 3: Resultados obtenidos mediante el ensayo Marshall	67
Tabla 4: Resultado obtenido mediante el ensayo Marshall	67
Tabla 5: Resultado obtenido mediante el ensayo Marshall	74
Tabla 6: Resultado obtenido mediante el ensayo Marshall	74
Tabla 7: Resultado obtenido mediante el ensayo Marshall	81
Tabla 8: Resultado obtenido mediante el ensayo Marshall	81
Tabla 9: Cuadro resumen del ensayo Marshall para los tres tipos de mezclas.....	88
Tabla 10: Cuadro comparativo entre mezcla convencional y mezcla con caucho al 1.0%	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sección transversal del neumático	26
Figura 2: selección de tipo de cemento asfáltico	42
Figura 3: Análisis de varianza (ANOVA).....	43
Figura 4: Granulometría de la mezcla	50
Figura 5: Gradación de los agregados para mezclas asfálticas	51
Figura 6: Granulometría de la mezcla de agregados	66
Figura 7: Porcentaje de Cemento Asfáltico vs % Vacíos.....	68
Figura 8: Relación Porcentaje de Cemento Asfáltico vs Densidad	69
Figura 9: Relación % Cemento Asfáltico vs % Vacíos en el Agregado Mineral.....	70
Figura 10: Relación % Cemento asfáltico vs % Vacíos Llenados con Asfalto	71
Figura 11: Relación porcentaje de Cemento Asfáltico vs Estabilidad.	72
Figura 12: Relación porcentaje de Cemento Asfáltico vs Flujo.....	73
Figura 13: Relación Porcentaje de Cemento Asfáltico vs Porcentaje de Vacíos.	75
Figura 14: Relación Porcentaje de Cemento Asfáltico vs Densidad.....	76
Figura 15: Relación Porcentaje de Cemento Asfáltico vs Porcentaje de Vacíos en el agregado mineral.....	77
Figura 16: Relación Porcentaje de Cemento Asfáltico vs Porcentaje de Vacíos Llenos con Asfalto.	78
Figura 17: Relación Porcentaje de Cemento Asfáltico vs Estabilidad	79
Figura 18: Relación Porcentaje de Cemento Asfáltico vs Flujo	80
Figura 19: Relación Porcentaje de Caucho vs Porcentaje de Vacíos	82
Figura 20: Relación Porcentaje de caucho vs Densidad	83
Figura 21: Relación Porcentaje de Caucho vs Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral	84
Figura 22: Relación Porcentaje de Caucho vs Porcentaje de vacíos llenados con asfalto.....	85
Figura 23: Relación Porcentaje de Caucho vs Estabilidad.....	86
Figura 24: Relación entre el Porcentaje de Caucho vs Flujo.....	87
Figura 26: Costo de mantenimiento de carreteras peruanas	91

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene la finalidad de determinar la influencia del caucho reciclado en las propiedades físicas y mecánicas en una mezcla asfáltica en caliente. La investigación es tipo experimental donde la base de esta investigación es el ensayo Marshall que se realizó a una mezcla convencional y la otra con adición de caucho reciclado; primero obtuvimos el óptimo contenido de cemento asfáltico entre 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5%, 7.0%, 7.5% y 8.0%, encontrando una mejor estabilidad en un 6.0%, por lo que fue el óptimo contenido de asfalto que encontramos. A base del óptimo contenido asfáltico encontramos el porcentaje necesario de caucho para poder comparar las propiedades físicas y mecánicas. Los porcentajes de caucho utilizado fueron de 0.5%, 1.0% y 1.5%. Al analizar el 0.5% de caucho arrojó un porcentaje de vacíos 4.11%, flujo de 9.28 y una estabilidad de 9.84KN, luego al analizar el 1.00% de caucho arrojó un porcentaje de vacíos de 3.85%, flujo de 9.72 y una estabilidad de 10.87 KN y por último se analizó el 1.50% de caucho y arrojó un porcentaje de vacíos de 3.54%, flujo de 10.14 mm y una estabilidad de 9.3 KN.

Se concluyó que el óptimo porcentaje de cemento asfáltico para esta investigación es de 6.0% con un porcentaje de caucho al 1.0%, se mejoró la estabilidad de la mezcla modificada con caucho en un 10% con respecto a la mezcla tradicional.

Por último, se realizó la comparación de costos entre una mezcla convencional y una modificada con caucho, de esta comparación se determinó que una carpeta asfáltica con caucho reduce el costo en un 24% con respecto a una carpeta asfáltica convencional.

Palabras clave: Caucho reciclado, mezclas asfálticas, propiedades mecánicas.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

Un país puede desarrollarse económicamente de varias formas, una de ellas es mediante el transporte terrestre, ya que esta acorta las brechas de una ciudad a la otra permitiendo el desarrollo económico y social, las vías terrestres son importantes en el desarrollo, pues sirven para el transporte de alimentos y material tecnológico, pero todo esto no sería posible si la infraestructura vial estuviera defectuosa, ya sea por la mala ejecución o la mala calidad de los materiales, por consecuencia esto lleva a fallas en la estructura vial generando incomodidad en sus usuarios y el desarrollo social de éstos, es por eso en los últimos años, se han implementado nuevas tecnologías como el pavimento permeable que puede absorber hasta 4,000 litros de agua en 60 segundos o también el biohormigon que se restaura con caliza sintetizada por los propios microorganismos, entre otros que permiten el desarrollo y la mejora de los pavimentos, de modo que la infraestructura vial se alinee con las necesidades de los transportistas. Es por eso que aparecen los estudios de modificación de mezclas de asfalto, como una forma de mejorar las propiedades mecánicas y, por lo tanto, resolver los problemas que actualmente surgen. (Carrizales, 2015)

La técnica de modificación de materiales de asfalto con caucho no es reciente. A mitad del siglo XIX surgió en Inglaterra la primera patente para una carpeta de un ligante de asfalto modificado con caucho natural. (Allison, 1967).

En España, Rodríguez (2015) argumenta que los pavimentos que contienen granos de caucho reciclado provenientes de llantas fuera de uso, al utilizar productos de desecho, ahorran energía y recursos naturales. Estos pavimentos han mejorado la resistencia al ahuellamiento, a la fatiga, a la fisuración térmica y reducen los costos de mantenimiento; el ruido del tráfico y extienden la vida útil del pavimento. Además,

añade que, la adición de caucho en porcentajes crecientes mejoró la resistencia del pavimento con respecto a la resistencia a la deformación permanente a altas temperaturas y al agrietamiento térmico a bajas temperaturas.

En Colombia, Díaz (2017) el GCR presente en las mezclas asfálticas, mejora los problemas de ahuellamiento, disminuyendo los contenidos de vacíos de aire en las mezclas asfálticas acompañados de un proceso más intensificado de compactación de la mezcla. En el mismo país, tres años más tarde (Rondón, Molano y Tenjo, 2012) reporta que la disminución en la temperatura de compactación (hasta 30°C) genera una ligera disminución en la resistencia bajo carga monotónica de las mezclas modificadas probadas con granos de caucho reciclado. Adicionalmente, se observa un aumento de dicha resistencia cuando se compactan bajo una temperatura de 10°C por debajo de la de referencia.

Carrizales (2015) concluye que el diseño de la mezcla asfáltica modificada con caucho reciclado de llanta no presenta mejoras en el comportamiento físico-mecánicas en ninguno de los diferentes diseños realizados en el laboratorio con partículas de caucho reciclado, puesto que los valores conseguidos por el ensayo Marshall están por debajo de la mezcla de asfalto convencional y las especificaciones normativas a la cual nos regimos. En cuanto a la flexibilidad, elasticidad y cambios de temperatura

Sin embargo, un año más tarde, Cervera (2016) concluye que la combinación de PCR en la cantidad de 1% con respecto al peso de la mezcla es lo que proporciona un mejor rendimiento en los parámetros de estabilidad y flujo para el tráfico pesado. El contenido óptimo para MAC con la adición de 1% de PCR es 5.3% de cemento asfáltico, que realizando su respectivo análisis cumple de acuerdo con las normativas descritas en EG 2013.

Por su parte, Maldonado (2008) concluye que el asfalto modificado con polímeros de tipo SBS o SB, tienden a ser más resistentes cuando vuelven a su posición original después que se elimina el esfuerzo de tensión al que fueron sometidos y considera que la elasticidad es una energía almacenada, ya que se disipa.

Con la implementación de políticas medioambientales a nivel nacional y el desarrollo de tecnologías que impliquen el mejoramiento de mezclas asfálticas incorporando caucho reciclado, se tendrá un mejor panorama con respecto al uso del caucho reciclado. (Peláez, Velásquez y Giraldo, 2017)

Actualmente, Trujillo es una de las ciudades más importantes del país, sin embargo, el incremento del parque automotor ha afectado la infraestructura vial y ha dejado en evidencia la falta de nuevas tecnologías en la aplicación de mezclas asfálticas en pavimentos flexibles. Por otro lado, el incremento de vehículos también ha aumentado el número de neumáticos fuera de uso, la mayoría de estos son quemados o tirados en basureros contaminando el medio ambiente. (Gómez, 2014)

El presente estudio identifica como problema principal el deterioro existente en las actuales mezclas asfálticas las cuales dificultan el buen desempeño de los pavimentos, en consecuencia, presentan desgaste prematuro, ahuellamiento, deformaciones, etc., los cuales se deben a diferentes factores de clima y de carga monotónica, como también al diseño de mezclas asfálticas. Dada esta realidad, existe una necesidad urgente de mejorar la tecnología de los pavimentos en la ciudad de Trujillo y en todo el Perú para lograr la vida útil para la cual fueron diseñados. Por esta razón, para conocer los problemas y las fallas en la estructura de los pavimentos, es necesario conocer la calidad de los materiales, métodos utilizados en el proceso constructivo, diseño del pavimento, etc. La solución que se plantea en la presente tesis

es diseñar pavimentos flexibles utilizando mezclas asfálticas modificadas con partículas de caucho.

En el siguiente estudio se analiza muestras realizadas en el laboratorio con el fin de determinar el comportamiento de las mezclas asfálticas con adición de caucho reciclado, además, se determinó el porcentaje óptimo y, de esa manera impulsar el desarrollo de nuevas tecnologías en mezclas asfálticas adicionando caucho reciclado y fabricar pavimentos con mejores propiedades mecánicas capaces de soportar condiciones climáticas extremas, tránsito pesado sin sufrir deformaciones, ahuellamientos, desgastes prematuros, etc.

El escenario descrito muestra la necesidad de continuar buscando alternativas para mejorar el diseño de mezclas de asfalto con la adición de caucho, con la finalidad de mejorar la estructura de los pavimentos y ofrecer mejores prestaciones para el tránsito vehicular.

1.2 Antecedentes de la investigación

Cervera (2016) determinó la influencia en las propiedades mecánicas del asfalto con la incorporación de caucho reciclado. La incorporación de PCR (partículas de caucho reciclado) influye de manera positiva la mezcla asfáltica en caliente, incrementando su estabilidad y mejorando la interrelación del flujo en un 2.6% y 2.3% respectivamente en relación con la mezcla patrón. Para esto se empleó 1% de PCR, ya que es la que mejor resultados muestra y cumple con las especificaciones técnicas del Manual de Carreteras EG 2013.

La presente investigación nos aporta en cómo usar las llantas fuera de uso en el diseño de mezclas asfálticas con el afán de mejorar sus propiedades mecánicas del asfalto.

Soto (2018) comparó los parámetros Marshall entre la mezcla de asfalto convencional y las mezclas de asfalto con los tres contenidos (1%, 2% y 3%) de caucho de llanta, podemos ver que, con los tres porcentajes de caucho, la mezcla cumple con todos los requisitos establecidos en el Manual de Carreteras de MTC para una mezcla de concreto bituminoso. Finalmente concluye que el porcentaje óptimo para el caucho es del 1%, logrando mejorar la mezcla asfáltica con respecto a sus parámetros Marshall, de esta manera obteniendo beneficios positivos para empresas relacionadas a la pavimentación, debido que, por ser un material reciclado, genera menos costos en la adquisición del producto y a su vez menor costo en la etapa de mantenimiento. Asimismo, se logró reducir la huella de carbono de las llantas en 5,172.83 kg CO₂ para 1 km de carpeta asfáltica en caliente, alcanzando un aporte importante sobre la reducción de gases que vienen afectando a nuestro medio ambiente.

La presente investigación nos incentiva a usar granos de llantas fuera de uso como alternativa del agregado fino, además de contribuir con el cuidado del medio ambiente, ya que se les dará un uso ecológico a las llantas fuera de uso.

Castillo y Chávarry (2020) determinó que el contenido óptimo de C.A. de grado de penetración PEN 60/70 incorporando agregados ya con un estudio granulométrico cumpliendo con los requisitos de calidad, así mismo, teniendo como base el caucho reciclado incorporando el 1.5% es de 6.20% de C.A., dicho porcentaje fue obtenido mediante las curvas de energía que relacionan los resultados de las fichas del ensayo Marshall. Por otro lado, concluye que resulta beneficioso utilizar el caucho reciclado, porque aumenta de manera positiva las propiedades mecánicas de la mezcla beneficiando así los porcentajes de vacíos, estabilidad y resistencia, comparando en nuestra investigación nos enfocamos más en las propiedades mecánicas del diseño de mezcla asfáltica en caliente trayendo este material reciclado grandes beneficios.

Carrizales (2015) estudió la mezcla asfáltica modificada con material reciclado de llanta para su aplicación en pavimentos flexibles, realizó 15 muestras de diseño asfáltico modificado con 3% de caucho reciclado de llanta en su composición, ya que fue este el porcentaje de caucho que mejor comportamiento tubo, sin embargo, la estabilidad de los asfaltos convencionales de 945 kg mientras que los asfaltos modificados con caucho son de 808 kg, siendo inferior a la estabilidad convencional en 137 kg. Se determinó que la mezcla asfáltica modificada con caucho reciclado de llanta no presenta mejoras en el comportamiento físico - mecánicas en ninguno de los distintos diseños realizados con caucho reciclado de llanta que se hizo en el laboratorio, ya que los valores obtenidos por el ensayo Marshall están por debajo de la mezcla asfáltica convencional y las especificaciones normativas a la cual nos regimos. La presente investigación concluye que la incorporación de partículas de caucho reciclado a las mezclas asfálticas no mejora su comportamiento mecánico. Sin embargo, al ser usados en mezclas asfálticas no producen efectos nocivos lo cual es bueno para el medio ambiente.

Ramírez (2006) estudió el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas a las cuales se les ha incorporado caucho como material granular fino. El mayor valor para resistencia diametral se logra para 0.5% de caucho. Según el método CEN a 25°C, los valores mayores de Módulo Resiliente se obtienen para 0.5% de caucho y para 40°C se obtienen con 1%. Esto implica que el caucho reciclado mejora las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas usándolo como un agregado (proceso seco) o como un modificador del ligante (proceso húmedo). Por otro lado, la reutilización del caucho reciclado contribuye con la mejora del medio ambiente al revalorizar un desecho como son los neumáticos en desuso y solucionar el problema de la disposición final.

La presente investigación nos aporta en como elegir el proceso de adición de caucho, dependiendo si se va a dar manteamiento o se va a construir. De acuerdo con los experimentos llevados a cabo determinó que el proceso por vía seca el comportamiento de la mezcla modificada con caucho no difiere mucho con el de la mezcla tradicional.

Revelo (2014) diseñó una mezcla asfáltica como alternativa para la utilización de residuos reciclados de elastómero procedente de neumáticos y de tereftalato de polietileno (PET) procedente de botellas de plástico, en mezclas asfálticas en caliente para tráfico pesado, estudiando las características de resistencia y deformación de cada mezcla e identificando la mejor combinación entre, hormigón asfáltico + elastómero y hormigón asfáltico + RPET + elastómero, que contribuya a resolver las fallas en la carpeta asfáltica a menor costo. Para este análisis se toma como base los datos obtenidos en cada una de las propiedades de la mezcla asfáltica normal y los datos de las propiedades de las mezclas modificadas, obtenidos a partir de la determinación del porcentaje óptimo de material modificador.

Al analizar las propiedades volumétricas, no se puede determinar puesto que el porcentaje óptimo de material modificador en base al gráfico Asfalto (%) vs Vacíos de aire (%), el porcentaje de vacíos sobrepasa el límite máximo de 5%, por lo tanto, se determina en base al gráfico Asfalto (%) vs Estabilidad (lb), tomando el valor que corresponde a la estabilidad máxima que se obtuvo la cual es de 3300,4 lb y corresponde a 7,5% de elastómero. Por lo tanto, concluye que la baja densidad de los materiales modificadores es el principal factor que genera una variación considerable en las propiedades volumétricas de la mezcla, como en el porcentaje de vacíos que es uno de los factores más decisivos y a medida que se incrementa el porcentaje de elastómero, los vacíos aumentan.

González (2015) corroboró que la recogida y tratamiento de caucho, junto con su posterior revalorización para otros usos, es fundamental para la sostenibilidad. El caucho reciclado pese a su coste inicial superior a otros materiales, sus características intrínsecas permitían el ahorro en su colocación y por supuesto, durante el “ciclo de vida” del producto al ser los costes de mantenimiento prácticamente nulos. Esto es algo que al fin estamos aprendiendo a valorar y que debe ser un aspecto fundamental a la hora de la elección de los productos que utilizaremos en nuestras construcciones.

1.2.1 Bases teóricas

1.2.1.1 Mezcla Asfáltica:

Una mezcla de asfalto, también llamada aglomerado, es generalmente una combinación de un aglutinante hidrocarbonato y agregados minerales pétreos. Las proporciones relativas de estos minerales determinan las propiedades físicas de la mezcla, así como su rendimiento como una mezcla terminada para un uso particular. Las mezclas de asfalto se utilizan en la construcción de pavimentos, ya sea en capas rodantes o en capas inferiores, lo que facilita el movimiento de vehículos, además de transmitir suficientemente las cargas de tráfico a la explanada para que sean soportadas por esta.

Las mezclas de asfalto se utilizan, entre otras cosas, para la construcción de carreteras, aeropuertos y pavimentos industriales. Además, se utilizan en capas inferiores de los firmes para tráfico pesado intenso. (Padilla, 2004).

a) Características y comportamiento de la mezcla

Se puede analizar una muestra de pavimento preparada en el laboratorio para determinar su posible rendimiento en la estructura del pavimento. El análisis se centra en cuatro propiedades de la mezcla y la influencia que pueden tener sobre el comportamiento de la mezcla de asfalto. Las cuatro características son:

- Densidad de la mezcla
- Vacíos de aire, o simplemente vacíos
- Vacíos en el agregado mineral
- Contenido de asfalto

b) Propiedades consideradas en el diseño de mezclas asfálticas

Una buena mezcla de asfalto funciona bien porque están diseñados, producidos y colocados en su lugar para lograr las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de los pavimentos de mezcla de asfalto. Estos incluyen: estabilidad, durabilidad, impermeabilidad, trabajabilidad, flexibilidad, resistencia a la fatiga y resistencia al deslizamiento.

➤ **Estabilidad Marshall**

La estabilidad Marshall de una mezcla de asfalto indica la capacidad para resistir el desplazamiento y la deformación durante las cargas de tráfico. Un pavimento estable puede mantener su forma bajo cargas repetidas; un pavimento inestable, desarrolla ahuellamiento, fisuras y desplazamientos los cuales evidencian fallas en la mezcla asfáltica. (Prieto. 2006).

➤ **Durabilidad**

La durabilidad del pavimento es su capacidad para soportar factores como la descomposición de los agregados, los cambios en las propiedades del asfalto (polimerización y oxidación) y la separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado del clima, el tráfico o una combinación de ambos. (Asphalt Institute, 1997).

En general, la durabilidad de una mezcla se puede mejorar de tres maneras: usando la mayor cantidad de asfalto posible, usando una clasificación estricta de

agregado resistente a la separación, y diseñando y comprimiendo la mezcla para lograr la máxima impermeabilidad. (Tapia, 2016).

➤ **Impermeabilidad de un pavimento**

Se define como la resistencia al aire y al agua que pasan a través de él. Esta función está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y así es como gran parte de la discusión de los huecos en las secciones de diseño de la mezcla se relaciona con la impermeabilidad. Aunque el contenido vacío es una indicación del posible paso de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es muy importante en su cantidad.

El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de las cavidades (vacíos), estén o no conectadas, y por el acceso que tengan a la superficie del pavimento. (Prieto, 2006).

➤ **Trabajabilidad**

La trabajabilidad se describe por la facilidad con que se puede colocar y compactar una mezcla de revestimiento. Las mezclas que tienen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellos con poca capacidad de trabajo son difíciles de colocar y compactar. La funcionalidad se puede mejorar modificando los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado y/o el tamaño de la granulometría. (Asphalt Institute, 1997).

Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienden a segregarse durante la manipulación; y también pueden ser difíciles de compactar. A través de prueba de laboratorio de mezclas, es posible agregar agregados finos, y tal vez asfalto, a una mezcla gruesa para que sea más útil. En este caso, se debe tener cuidado para garantizar que la mezcla modificada cumpla con los otros criterios de diseño, como el contenido vacío y la estabilidad. (Prieto, 2006)

➤ **Resistencia a la fatiga**

Es la resistencia a la flexión repetida durante las cargas de tráfico. Se ha demostrado en diferentes investigaciones que el vacío (relacionado con el contenido de asfalto) y la viscosidad tienen un efecto significativo sobre la resistencia a la fatiga. A medida que aumenta la proporción de huecos en un pavimento, ya sea por construcción o por falta de compactación, disminuye la resistencia a la fatiga del pavimento. Del mismo modo, un pavimento que contiene asfalto que ha envejecido y curado significativamente tiene menos resistencia a la fatiga. (Prieto, 2006).

1.2.2 Clasificación de las mezclas asfálticas

Existen diferentes parámetros de clasificación para determinar las diferencias entre las mezclas de asfalto y las clasificaciones pueden ser diferentes:

a) Por Fracciones de agregado pétreo empleado.

- **Masilla asfáltica:** Polvo mineral más ligante.
- **Mortero asfáltico:** Agregado fino más masilla.
- **Concreto asfáltico:** Agregado grueso más mortero

b) Por la temperatura de puesta en obra.

- **Mezclas asfálticas en Caliente:** Se fabrican con asfalto a altas temperaturas, en el rango de 150 grados centígrados, dependiendo de la viscosidad del ligante, los agregados también se calientan para que el asfalto no se enfríe cuando entra en contacto con ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas mucho más altas que el medio ambiente, ya que de lo contrario estos materiales no pueden extenderse y mucho menos compactarse de manera correcta.
- **Mezclas asfálticas en Frío:** El aglutinante suele ser una emulsión de asfalto (ya que el asfalto fluidizado todavía se usa en algunos lugares) y la instalación se lleva a cabo a temperatura ambiente.

c) Por la proporción de Vacíos en la mezcla asfáltica

- **Mezclas Cerradas o Densas:** La relación de vacíos es menor al 6%.
- **Mezclas Semi–cerradas o Semi–densas:** La relación de vacíos está entre el 6% y el 10%.
- **Mezclas Abiertas:** La relación de vacíos es superior al 12%.

d) Mezclas Porosas o Drenantes: La relación de vacíos es mayor al 20%.

por el tamaño máximo del agregado pétreo

- **Mezclas Gruesas:** Donde el tamaño máximo del agregado pétreo supera los 10mm.
- **Mezclas Finas:** Llamadas micro aglomerados, también pueden llamarse morteros de asfalto, porque son mezclas que están formadas básicamente por un agregado fino que incluye polvo mineral y un aglutinante de asfalto. El tamaño máximo del conjunto de piedra determina el espesor mínimo con el que se dispersará una mezcla, que sería el doble o el triple del tamaño máximo

e) Por la Estructura del agregado pétreo.

- **Mezclas con Esqueleto mineral:** Tienen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debido a la fricción interna de los agregados es notable. Por ejemplo, las mezclas abiertas y lo que generalmente se llama hormigón asfáltico, aunque una parte de esta última resistencia, dependen de la masilla.
- **Mezclas sin Esqueleto mineral:** No tienen un esqueleto mineral fuerte, la resistencia depende únicamente de la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masilla de asfalto.

1.2.3 Consideraciones en el diseño de mezcla

En muchos casos, el proyecto de una mezcla asfáltica se limita a determinar su contenido de ligante, sin embargo, esa es solo la última fase de un proceso más extenso. Esto requiere un estudio minucioso de todos los factores implicados para asegurar un comportamiento de mezcla adecuado y ahorros económicos significativos en la solución. (Rodríguez, 2007).

Las etapas del proyecto de una mezcla son las siguientes:

- a) Análisis de las condiciones bajo las cuales funciona la mezcla: tráfico, tipo de infraestructura (carretera, carretera de la ciudad, aeropuerto, etc.), la capa actual (rodante, intermedia o base) y espesor, naturaleza de las capas subyacentes, intensidad del tráfico pesado, clima. De manera similar, es necesario distinguir si se trata de una nueva empresa o de una rehabilitación.
- b) determinación de las propiedades básicas que debe poseer la mezcla, dadas las condiciones bajo las cuales debe operar. Se debe determinar la resistencia, entre otras cosas, a las deformaciones plásticas o flexibilidad.
- c) Selección del tipo de mezcla que mejor se adapte a los requisitos, e incluye en este análisis las consideraciones económicas o de implementación a considerar.
- d) Materiales disponibles, selección de agregado pétreo, que debe cumplir con ciertas especificaciones, pero que generalmente estarán disponibles en un radio limitado y, por lo tanto, a un costo razonable. También debe elegir polvo mineral.
- e) Elección del tipo de aglutinante: asfalto, asfalto modificado, emulsión de asfalto, el costo siempre es un factor muy relevante.
- f) Dosificación o determinación del contenido óptimo de aglutinante de acuerdo con un proceso que debe adaptarse al tipo de mezcla, que debe hacerse para

diferentes combinaciones de las fracciones disponibles del agregado pétreo, de modo que las granulometrías conjuntas analizadas se encuentren dentro de un uso previamente seleccionado.

- g) Otros factores para considerar al diseñar y seleccionar una mezcla de asfalto son los siguientes: requisitos de seguridad vial, estructura del pavimento, técnicas de diseño y construcción, sitio de construcción del pavimento (topografía, temperatura, terreno, período de lluvia, diseño de la ruta, entre otros), condiciones de drenaje y económicas.

1.2.4 Asfaltos modificados

Hay situaciones en las que las mezclas de asfalto no pueden resistir este efecto común del tráfico y el clima, para lo cual es necesario desarrollar mezclas más resistentes, mejorar sus propiedades mecánicas, enfatizar en la durabilidad, el ahuellamiento y la fatiga.

El asfalto es sensible a la temperatura. Como es un material viscoelástico, se presenta cambios continuos de propiedades según el rango de temperaturas de funcionamiento. Es rígido a bajas temperaturas y fluido a altas temperaturas. El propósito principal cuando se usan modificadores en el cemento asfáltico es lograr propiedades que no se obtienen en el asfalto fabricado con técnicas convencionales, especialmente aquellas relacionadas con la sensibilidad térmica. (Garnica, 2001).

Los beneficios que se pueden obtener modificando el asfalto son:

- Aumentar la durabilidad del pavimento
- Reducir la sensibilidad térmica para aumentar la rigidez a altas temperaturas de funcionamiento, optimizando la resistencia de las mezclas a la deformación permanente, además, reduce la fragilidad del asfalto a baja temperatura y evita el agrietamiento térmico.

- Reducir el envejecimiento durante la operación y extiende la vida útil de las mezclas de asfalto.
- Mejorar la cohesión y proporcionar una mejor retención de agregados.
- Aumentar la resistencia a la fatiga de las mezclas.
- Mejorar la adhesión del asfalto con áridos pétreos mezclas asfalto,

En general, las mezclas asfálticas mejoran sus propiedades al incorporarle polímeros, como la menor deformabilidad y una mayor resistencia a las tensiones del tráfico. Los polímeros son sustancias orgánicas de alto peso molecular que logran hidratarse e hincharse al interactuar con el ligante de asfalto. (Cervera, 2016).

1.2.5 Comportamiento de las mezclas asfálticas en caliente modificadas con caucho reciclado

Existen diferentes tecnologías para incorporar el caucho en la mezcla de asfalto, pero hay algunos beneficios comunes a ambos casos. Entre estas ventajas está la mejora en la resistencia a deformaciones plásticas. En general, se puede decir que cuanto más se incorpora el caucho, mayor es el contenido de aglutinante en la mezcla de asfalto y mayor es la resistencia a la fatiga y a la formación de grietas.

El uso de partículas gruesas de caucho como agregado en la mezcla asfáltica puede mejorar el rendimiento. Las partículas de goma que están expuestas en las superficies del pavimento tienen una función importante para evitar que las llantas del vehículo se resbalen sobre el pavimento, proporcionando un mejor agarre, y las que permanecen dentro del cuerpo de la mezcla contribuyen a retrasar el agrietamiento. de estos últimos, por absorción de tensiones, interfiriendo con la propagación de la grieta. (Ramírez, 2006)

- **Proceso vía húmeda:** reduce la susceptibilidad térmica, además mejora el comportamiento a la fatiga y al envejecimiento gracias al alto contenido de aglutinante asfalto – caucho (6.5 y 7.5% en comparación con los agregados)

Reducción de la sensibilidad térmica, además de mejorar la fatiga y el comportamiento de envejecimiento gracias al alto contenido de aglutinante de caucho asfáltico (entre 6.5 y 7.5% en comparación con los agregados), sin afectar la resistencia a la deformación plástica. Cabe señalar que, al usar el caucho como modificador de aglutinante, aumenta la viscosidad, lo que permite una mayor flexibilidad a bajas temperaturas y una mejor estabilidad a altas temperaturas.

- **Proceso por vía seca:** la reacción entre el caucho y el cemento bituminoso es menor que para el aglutinante de asfalto - caucho obtenido por el proceso húmedo, si se encuentran la temperatura y el tiempo de digestión apropiados, se obtendrán propiedades similares en las dos mezclas.

1.2.6 Mezclas asfálticas con la incorporación de granos de caucho reciclado

1.2.6.1 El neumático

En 1839, el estadounidense Charles Goodyear descubrió de pura casualidad, el proceso de vulcanización, con el que se da resistencia al caucho y la solvencia necesaria para fabricarlo. Esto consistía en mezclar el caucho con azufre y después de calentar, el caucho se endureció y tomó la calidad del cuero, y no se disolvió tan fácilmente en petróleo y otras soluciones. A este proceso se le llamó vulcanización, el cual revolucionaría la vida moderna. Sin embargo, para eso faltaba un invento más, el cual llegó de la mano del escocés John Boyd Dunlop a fines de los 1880: el neumático.

Figura 1: Sección transversal del neumático



Fuente: Pruebaderuta.com

1.2.6.2 Características de los neumáticos

Los componentes principales del neumático son caucho natural y sintéticos; existen dos tipos: Styrene-Butadiene-Styrene (SBS) es un elastómero termoplástico sintético polimerizado a partir de una mezcla de estireno y butadieno, y Styrene Butadiene Rubber (SBR) es un elastómero sintético obtenido por polimerización de una mezcla de monómeros: estireno y butadieno, y negro de carbón.

El caucho natural está hecho de látex, que es una resina blanca lechosa que ocurre en el árbol de Hevea, mejor conocido como el árbol del caucho, que se encuentra en bosques tropicales húmedos en Brasil, Colombia o Tailandia. Este látex es una dispersión acuosa que contiene entre 25% y 40% de caucho. Las propiedades que el caucho natural da a los neumáticos son: maleabilidad, alta

resistencia mecánica y su adhesión a cualquier tipo de superficie. Cualidades que todavía hacen hoy un elemento indispensable para la industria del neumático, donde se consume alrededor del 70% de la producción mundial. (Chávez, 2005).

1.2.6.3 Utilización de neumáticos fuera de uso

La fabricación masiva de neumáticos y las dificultades de hacerlos desaparecer cuando se usan representa uno de los problemas ambientales más graves en los últimos años en todo el mundo. Un neumático necesita grandes cantidades de energía para fabricarse (medio barril petróleo crudo para hacer un neumático de camión) y también causa, si no contaminantes ambientales convenientemente reciclados ya que generalmente es parte de los vertederos sin control. Sin embargo, hay formas de lograr un reciclaje constante de estos productos, pero hacen falta políticas que favorezcan la recolección e implementación de industrias dedicadas a la tarea de reciclar o limpiar componentes peligrosos en neumáticos de vehículos y maquinaria. (Castro, 2007).

1.2.6.4 Reciclado

Como el uso de materiales se puede señalar que existen diferentes procedimientos para discontinuar las propiedades elásticas de los desechos de caucho y proporcionar nuevamente propiedades plásticas como el caucho no vulcanizado. Veremos algunos procesos más importantes:

a) Regeneración

Este proceso se basa en romper las cadenas que componen el material para obtener una materia prima que, aunque lejos del original, podría ser vulcanizado nuevamente y refabricado. El caucho regenerado podría usarse en la fabricación de neumáticos, todos los días mezclas utilizadas en la fabricación de neumáticos, que requieren muy alto rendimiento, deben cumplir especificaciones tan estrictas que lo hacen difícil, debido al momento, el uso generalizado de caucho regenerado. En

cualquier caso, se puede aplicar a la fabricación de otros productos de caucho o cubiertas fijas para otros tipos de vehículos.

b) Termólisis

Es un sistema donde el material de desecho de los neumáticos está expuesto a un calentamiento en un medio donde no hay oxígeno. Las altas temperaturas y la ausencia del oxígeno tienen el efecto de destruir los enlaces químicos. Entonces aparecen las cadenas de hidrocarburos. Esa es la forma de volver a colocar los compuestos originales en el neumático, así que cuál es el método que logra la recuperación total de los componentes del neumático.

c) Incineración

Es un proceso en el cual los neumáticos se exponen a altas temperaturas en hornos con materiales de alta calidad. Llevar a cabo este proceso demanda de altas cantidades de dinero y presenta inconvenientes con la velocidad de combustión debido a los diferentes componentes utilizados, además es contaminante.

d) Trituración mecánica

Proceso mecánico que consiste en la trituración de neumáticos en desuso utilizando sistemas mecánicos, por lo que el producto resultante es de alta calidad y facilita la utilización en nuevos procesos. (Castro, 2007)

1.2.7 Aplicación del grano de caucho en pavimentos

El caucho de los neumáticos usados se puede usar como parte de la carpeta o capa de sellado de asfalto (caucho de asfalto) o como agregado (concreto de asfalto modificado con Borrador). Dependiendo del sistema utilizado, se pueden usar entre 1,000 y 7,000 neumáticos por kilómetros de carreteras de dos carriles colocan cifras tan altas reutilizadas en el pavimento de asfalto como una de las soluciones fantásticas para el uso de neumáticos sin usar. (Castro, 2007).

1.2.7.1 Proceso por vía húmeda

En este proceso, los granos de polvo de caucho se combinan con el cemento asfáltico, para producir una mezcla modificada llamada asfalto-caucho, que se utiliza del mismo modo que un ligante modificado. La preparación de asfalto engomado consiste en combinar el grano de caucho reciclado con un diámetro máximo de 2 mm, con el cemento asfáltico en un tanque de agitación donde se realizará la conexión. ° C-210 ° C durante 1 a 4 horas.

1.2.7.2 Proceso por vía seca

El caucho granulado o en polvo se mezcla con el agregado antes de la adición de asfalto.

Los granos de caucho interactúan con el aglutinante de asfalto, lo que se conoce como digestión del caucho, donde el caucho pasa de ser un agregado elástico a un modificador del cemento de asfalto en la mezcla. El proceso tiene lugar desde la superficie de la partícula hasta su interior, por lo tanto, se requiere una granulometría más fina, un porcentaje bajo con respecto a los agregados, por lo tanto, se requiere una temperatura más alta y prolongada durante la fabricación. No genera reacciones importantes entre el caucho y el cemento asfáltico debido al corto tiempo de interacción, por lo tanto, no logra una reacción similar al proceso húmedo, por lo que tiene un efecto limitado sobre el comportamiento de la mezcla de asfalto.

1.2.8 Diseños de mezcla asfálticas

En la actualidad, el diseño de mezclas de asfalto demuestra la importancia de obtener suficientes propiedades volumétricas en la carpeta de asfalto, ya que depende, en gran medida, del rendimiento de la superficie de rodamiento durante su vida útil. Por lo tanto, la importancia de una simulación adecuada en el laboratorio, la

densificación que tiene lugar en el campo, bajo el efecto del vehículo y, por lo tanto, alcanzan fórmulas de trabajo que le permiten dispensar mezclas que exhiben un mejor comportamiento bajo ciertas condiciones de tráfico y el clima. (Tapia 2014)

Para el diseño de mezclas asfálticas existen diferentes métodos para un diseño óptimo en laboratorio; los más utilizados son, el método Hveem, Marshall y el Cantabro.

1.2.8.1 Gravedad específica neta del agregado

Se calcula cuando la mezcla total contiene fracciones separados de agregado grueso, fino y filler, éstas tienen distintas gravedades específicas por lo que la gravedad específica neta para la mezcla se calcula con lo siguiente:

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

Donde:

G_{sb}: Gravedad específica neta para el agregado total.

P₁, P₂, ... P_n: Porcentaje individuales por masa de agregados.

G₁, G₂, ... G_n: Gravedad específica neta individual del agregado.

1.2.8.2 Gravedad específica efectiva del agregado

La gravedad específica efectiva del agregado contiene todos los espacios vacíos de las partículas del agregado con excepción de aquellos que absorben el material bituminoso. La G_{se} se obtiene usando:

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

Donde:

G_{se}: Gravedad específica efectiva del agregado.

G_{mm}: Gravedad específica máxima (ASTM D204/AASHTO T209) de mezcla de pavimento (sin vacíos de aire).

P_{mm}: Porcentaje de masa del total de la mezcla suelta = 100%.

P_b: Contenido de asfalto con el cual ASTM D204/AASHTO T209 desarrolló el ensayo; el porcentaje por el total de la masa de la mezcla.

G_b: Gravedad específica del asfalto.

1.2.8.3 Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica

Al diseñar mezclas de asfalto para un agregado dado, se necesitará una gravedad específica máxima G_{mm} , para cada proporción de asfalto con el objetivo de poder calcular el porcentaje de aire en el asfalto.

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

Donde:

G_{mm}: Gravedad específica máxima de la mezcla del pavimento (sin vacíos de aire).

P_{mm}: Porcentaje de la masa del total de la mezcla suelta.

P_s: Contenido de agregado, porcentaje del total de la masa de la mezcla.

P_b: Contenido de asfalto con el cual ASTM D204/AASHTO T209 desarrolló el ensayo; el porcentaje por el total de la masa de la mezcla.

G_b: Gravedad específica del asfalto.

G_{se}: Gravedad específica efectiva del agregado.

1.2.8.4 Absorción del asfalto

Se expresa como el porcentaje de la masa del agregado, más que un porcentaje total de la mezcla, que se determina.

$$G_{ba} = 100 * \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} * G_{se}} * G_b$$

Donde:

P_{ba} : Asfalto absorbido, porcentaje de la masa del agregado.

G_{se} : Gravedad específica efectiva del agregado.

G_{sb} : Gravedad específica neta del agregado.

G_b : Gravedad específica del asfalto.

1.2.8.5 Contenido de asfalto efectivo

El P_{be} , de una mezcla asfáltica es el volumen, menos la cantidad del asfalto que se perdió por absorción dentro del agregado. Es la fracción del implícito total de asfalto que se queda como capa afuera del agregado y es el contenido de asfalto que lidera el trabajo de una mezcla asfáltica.

$$G_{be} = P_b - \left(P_{ba} * \frac{P_s}{100} \right)$$

Donde:

P_{be} : Contenido de asfalto efectivo, porcentaje de la masa total de la mezcla.

P_b : Contenido de asfalto, porcentaje de la masa total de la mezcla.

P_{ba} : Asfalto absorbido, porcentaje del agregado.

P_s : Contenido de agregado, porcentaje total de la masa de la mezcla.

1.2.8.6 Porcentaje de vacíos en el agregado mineral

Es el vacío que se forma entre las partículas de agregado en una mezcla de asfalto compactada que contiene los vacíos y el contenido de asfalto efectivo expresado como un porcentaje de volumen total.

$$VMA = 100 - \left(G_{mb} * \frac{P_s}{G_{sb}} \right)$$

Donde:

VMA: Vacíos en el agregado mineral (porcentaje del volumen neto).

G_{sb}: Gravedad específica neta del total de agregado.

G_{mb}: Gravedad específica neta de la mezcla asfáltica compactada (ASTM D1188 o D2726/AASHTO T166).

P_s: Contenido de agregado, porcentaje total de la masa de la mezcla asfáltica.

1.2.8.7 Porcentaje de vacíos de aire

Son espacios de aire entre las partículas de agregado. Este porcentaje de vacíos en una mezcla asfáltica compactada se determina usando.

$$Va = 100 * \left(\frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right)$$

Donde:

Va: Vacíos de aire en una mezcla compactada, porcentaje del volumen total.

G_{mm}: Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica.

G_{mb}: Gravedad específica neta de la mezcla asfáltica compactada (ASTM D1188 o D2726/AASHTO T166).

1.2.8.8 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto

El porcentaje de vacíos en ellos agregados minerales se llenan por el asfalto se determina usando.

$$VFA = 100 * \left(\frac{VMA - Va}{VMA} \right)$$

Donde:

VFA: Vacíos llenados con asfalto, porcentaje de VMA.

VMA: Vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen total.

Va: Vacíos de aire en una mezcla compactada, porcentaje del volumen total.

1.2.9 Método Marshall para mezclas de granulometría densa

El Método Marshall para el Diseño de Mezclas de Asfalto fue formulado por Bruce Marshall, Ingeniero de Asfalto, Departamento de Carreteras del Estado de Mississippi. Él mejoró y agregó al procedimiento de prueba Marshall y también desarrolló un criterio de diseño para mezclas a través de investigaciones y estudios de correlación.

El método original solo es aplicable a las mezclas de pavimento de asfalto caliente que contienen agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1") o menos. El método Marshall modificado se desarrolló para tamaños máximos de más de 38 mm (1.5") y está diseñado para el diseño de laboratorio y el control de campo de mezclas de asfalto caliente con clasificación densa.

En el método Marshall, lo primero que se tiene que hacer es determinar qué propiedades debe tener la mezcla (estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, etc.) y elegir un tipo de agregado y un tipo de asfalto compatible que pueda combinarse para producir estas cualidades. Una vez hecho esto, puede comenzar a preparar las pruebas. La primera preparación para las pruebas consiste en recolectar muestras

representativas de asfalto y el agregado que se utilizará en la mezcla. La relación viscosidad-temperatura del cemento que se utilizará ya debe conocerse para determinar las temperaturas de mezcla y compresión en el laboratorio. Luego, y para identificar sus propiedades, los agregados se secan a 110 °C en un horno, se determina su gravedad específica y se realiza un análisis granulométrico mediante lavado.

Se preparan muestras de prueba de posibles mezclas de cada una que contiene una cantidad ligeramente diferente de asfalto, que debe tener 64 mm (2 ½") de largo y 102 mm (4") de diámetro, y se preparan de la siguiente manera (ASTM D1559):

1. Los agregados se acondicionan cerca de la temperatura de mezcla, el asfalto se dosifica en peso con respecto a la mezcla total. Luego se cubre el agregado pétreo, lo que mantiene la temperatura de mezcla dentro del rango especificado hasta que las partículas más gruesas se hayan cubierto por completo. Esto simula los procesos de calentamiento y mezcla que ocurren en la planta.
2. Cuando la mezcla ha alcanzado la temperatura de compresión, se coloca dentro de los moldes donde se va a comprimir. Los moldes deben estar calientes, así como los demás accesorios utilizados para vaciar y organizar la mezcla para evitar bajar la temperatura de la mezcla de asfalto antes de la compresión.

El pavimento flexible se llama aquellos cuya estructura se defleca o flexiona dependiendo de la carga de tráfico que pasa sobre este. El uso de pavimento flexible se usa principalmente en áreas con mucho tráfico, en carreteras, aceras o estacionamientos.

Estos pavimentos flexibles tienen algunas características principales que deben cumplirse y son los siguientes: Resistencia estructural, deformabilidad, durabilidad, requisitos de conservación y comodidad y Composición de pavimentos flexibles. (Rattia, 2014).

3. Posteriormente, las muestras se compactan con el martillo Marshall mediante 35, 50 o 75 golpes por capa, dependiendo de la cantidad de tráfico para el que está diseñada la mezcla.

1.2.10 Pavimentos flexibles

El pavimento flexible se llama aquellos cuya estructura se defleca o flexiona dependiendo de la carga de tráfico que pasa sobre este. El uso de pavimento flexible se usa principalmente en áreas con mucho tráfico, en carreteras, aceras o estacionamientos.

Estos pavimentos flexibles tienen algunas características principales que deben cumplirse y son los siguientes: Resistencia estructural, deformabilidad, durabilidad, requisitos de conservación y comodidad y Composición de pavimentos flexibles. (Rattia 2014).

1.3 Justificación del problema

La infraestructura vial es una parte importante del desarrollo económico y social de un territorio porque permite la comunicación y las relaciones mutuas entre centros poblados, así como el intercambio de bienes y servicios. Por eso es importantes que las condiciones de las carreteras garanticen un desplazamiento cómodo y seguro a los usuarios de la vía. En consecuencia, con lo anteriormente mencionado es que se realiza esta investigación que tiene la finalidad de incorporar propuestas de mezclas asfálticas modificadas en caliente utilizando partículas de caucho reciclado que mejoran la resistencia a las cargas, daños por humedad y al desgaste prematuro generando menor necesidad de mantenimiento de la vía.

Además, al utilizar partículas de caucho, las cuales provienen de neumáticos fuera de uso, estamos contribuyendo con el cuidado del medio ambiente, ya que actualmente en la ciudad de Trujillo, donde se ha llevado a cabo este trabajo de

investigación, no cuenta con un política o plan de manejo de neumáticos fuera de uso.

Por otro lado, utilizar partículas de caucho reciclado presenta, además de ventajas ambientales, también económicas.

1.4 Formulación del problema

¿Cuál es la influencia del caucho reciclado en las propiedades físicas – mecánicas en una mezcla asfáltica en caliente?

1.5 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Determinar la influencia del caucho reciclado en las propiedades físicas y mecánicas en una mezcla asfáltica en caliente.

1.1.2 Objetivos específicos

O.E.1 Determinar el óptimo contenido de cemento asfáltico mediante el ensayo Marshall.

O.E.2 Obtener el porcentaje necesario del caucho reciclado en base al óptimo contenido de cemento asfáltico.

O.E.3 Comparar las propiedades físicas y mecánicas en una mezcla asfáltica en caliente con adición y sin adición de caucho reciclado.

O.E.4 Comparar los costos de una mezcla asfáltica en caliente y una mezcla asfáltica en caliente con adición de caucho reciclado.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis general

El caucho reciclado mejorará las propiedades físicas y mecánicas en una mezcla asfáltica en caliente.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Tipo de investigación

2.1.1 Por el propósito

La presente investigación según el propósito es aplicada, debido a que se basa en los hallazgos tecnológicos de la investigación, ocupándose del proceso de enlace entre la teoría y el producto.

2.1.2 Según el diseño

Según el diseño es de tipo experimental porque se va a manipular la variable independiente “caucho reciclado” para analizar los efectos sobre una mezcla asfáltica en caliente.

2.1.3 Según la naturaleza de datos de la investigación

Según la naturaleza de los datos de la investigación, el método que se utilizará es el cuantitativo, que a través de las pruebas que se van a realizar se van a obtener valores numéricos, los cuales se van a comparar con mezclas asfálticas tradicionales y mezclas asfálticas modificadas con partículas de caucho reciclado.

Se realizará 3 ensayos Marshall, con la finalidad de determinar la estabilidad, porcentaje de vacíos y porcentaje de flujo.

2.2 Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1 Población:

La investigación tiene como población a todas las mezclas asfálticas en caliente para pavimentos flexibles en la ciudad de Trujillo.

2.2.2 Muestra:

La investigación tiene como muestra las mezclas asfálticas en caliente, en pavimentos flexibles utilizando caucho reciclado en la ciudad de Trujillo.

2.3 Variables

2.3.1 Variable independiente

La variable independiente de esta investigación es el caucho reciclado por lo que no depende de otro material o variable que pueda influir en su comportamiento, es así que el caucho reciclado nos ayudará a determinar el comportamiento físico y mecánico de una mezcla asfáltica en caliente,

2.3.2 Variable dependiente

La variable dependiente de esta investigación son las propiedades físicas - mecánicas en una mezcla asfáltica en caliente ya que depende del caucho reciclado para alterar su comportamiento.

2.4 Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems
Variable Independiente: Caucho reciclado.	Cabanillas (2017) Se define caucho reciclado a la reutilización de los neumáticos que cumplieron su vida útil, estos son reutilizables y son fuentes de energía aprovechable.	Proceso mecánico para triturar el caucho reciclado para disminuir su volumen a uno muy pequeño para luego ser añadido a la mezcla asfáltica en porcentaje óptimo o necesario.	Neumáticos defectuosos o que cumplieron su ciclo de vida.	*Características del caucho reciclado. *Ensayo de granulometría (%).	*Caracterización de los agregados. *Características de las partículas del caucho. * Porcentaje óptimo de asfalto. *Porcentaje óptimo de caucho.
Variable Dependiente: Propiedades físicas mecánicas en una mezcla asfáltica en caliente.	Rondón; Reyes (2011) Para la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica convencional y modificada para emulsiones bituminosas se emplea Marshall donde las propiedades más importantes son la estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos.	Proceso de ensayos mediante el método Marshall para pavimentos flexibles, para determinar las propiedades físicas y mecánicas.	Mezcla asfáltica caliente.	*Compactación (Golpes). *Estabilidad (KN). *Flujo (mm) *Porcentaje de vacíos (%)	*Antes de la mezcla asfáltica en caliente modificada. *Después de la mezcla asfáltica en caliente modificada.

2.5 Materiales

2.5.1 Agregado grueso

Según el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG – 13)”, se considera como tal, la parte del agregado que queda en el tamiz de 4.75 mm (n° 4). El agregado debe provenir principalmente del triturado de roca o grava o una combinación de ambos; sus fragmentos deben ser limpios, resistentes y duraderos, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Estará libre de polvo, suciedad, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan afectar la calidad de la mezcla.

2.5.2 Agregado fino

Según el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG – 13)”, se denomina agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4,75 mm y 75 μ m (n° 4 y n° 200). Está compuesto por arena abrasiva o una mezcla con arena natural. La proporción permisible de estos últimos se determinará en el correspondiente diseño aprobado.

Las partículas de agregado fino deben ser duras y limpias, con superficie rugosa y bordes y esquinas afilados. El material no debe contener sustancias que impidan la adhesión al asfalto y debe satisfacer los requisitos de calidad indicados en cada especificación.

2.5.3 Cemento asfáltico

Según el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG – 13)”, el cemento asfáltico es un material bituminoso aglomerante, de consistencia sólida, utilizado para la fabricación de mezclas asfálticas en caliente.

El cemento asfáltico a emplear en los riegos de liga y en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente será clasificado por viscosidad absoluta y por penetración. Su empleo

será según las características climáticas de la región, la correspondiente carta viscosidad del cemento asfáltico y tal como lo indica la figura 2.

Figura 2: selección de tipo de cemento asfáltico

Temperatura Media Anual			
24°C o más	24°C - 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40-50 ó 60-70 o modificado	60-70	85-100 120-150	Asfalto Modificado

Fuente: Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG – 13)”.

El tipo de cemento asfáltico utilizado en la presente tesis es de 60/70, considerando que el ensayo ha sido realizado en la ciudad de Trujillo, y su temperatura oscila entre los 15 °C y 24°C.

2.5.4 Partículas de caucho reciclado

Las partículas de caucho reciclado se obtienen a partir de la trituración de neumáticos fuera de uso.

El caucho reciclado puede ser utilizado como componente de pavimentos y concretos para la construcción de vías y edificaciones. Emplear residuos de caucho en este tipo de aplicaciones representa, además de las importantes ventajas ambientales y económicas expuestas previamente, mejoras técnicas en este tipo de productos, tales como el incremento de la resistencia al impacto y la resistencia a la fatiga, acarreado sin embargo algunas pérdidas en propiedades como el módulo elástico y la resistencia a la compresión. (Peláez, Velásquez y Giraldo 2017).

2.6 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Para la recolección de datos de la presente investigación, se realizó un diseño experimental, donde se comparará una mezcla asfáltica con adición de caucho reciclado con otra mezcla asfáltica sin modificar.

2.6.1 Técnicas para la recolección de datos

La técnica de recolección de datos se hizo mediante la observación, los procedimientos que se utilizaron para la toma de datos corresponden a ensayos de laboratorio, y fueron de forma sistemática y confiable, dado que, posteriormente permitió procesar y analizar el problema que se está estudiando, donde se evaluó la adición del caucho reciclado en las propiedades físicas – mecánicas en una mezcla asfáltica.

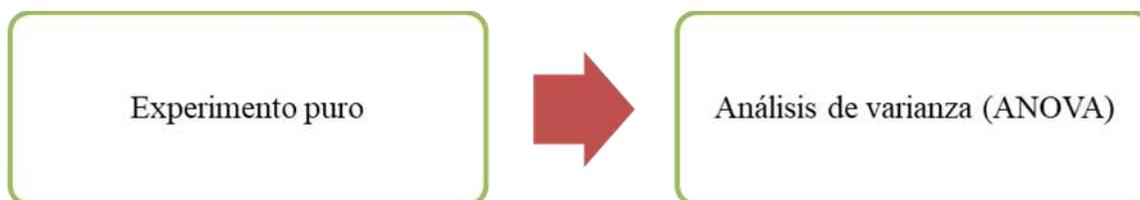
2.6.2 Instrumentos para la recolección de datos

El instrumento de recolección de datos que se usó en la presente investigación es la guía de observación, debido a que ésta permitió describir, con mayor precisión, las características y propiedades de la unidad de análisis que se está llevando a cabo.

Para el análisis de datos de la presente investigación se usó el método de inferencia Estadística, debido que, a partir de la información proporcionada por la muestra se podrá inferir el comportamiento de la población teniendo un riesgo de error mínimo en términos probabilísticos.

Para el análisis de datos se usó del diseño experimental la varianza (ANOVA) para la obtención de resultados, debido a que se cuentan con las dos variables. De esta manera se midió una escala de intervalos de las cuales saldrán de una suposición de datos.

Figura 3: Análisis de varianza (ANOVA)



En la realización del ensayo Marshall, se utilizaron los siguientes instrumentos y/o equipos:

- Molde de Compactación: Consigna de una placa de base plana, molde y collar de amplificación cilíndricos. El molde de un diámetro interior de 101.6 mm (4”) y altura aproximada de 76.2 mm (3”); la placa de base plana y el collar son intercambiables. Es conveniente que el molde esté provisto con agarraderas. Ver anexo N°107.
- Martillo de compactación con base plana circular de comprimido de 98,4 mm (3 7/8”) de diámetro, equipado con un pisón de 4.54 kg (10 lb) de peso total, cuya altura es de caída de 457.2 mm (18”).
- Pedestal de compactación. Pieza de madera de base cuadrada de 200.3 mm de lado y 457.2 mm de altura (8”x8”x18”), provista en su cara superior de una platina cuadrada de acero de 304.8 mm de lado por 25.4 mm de espesor (12”x12”x1”), finalmente sujeta en la misma. El conjunto se fijó firmemente a una superficie de concreto, de tal manera que la platina de acero quede horizontal.
- Extractor de muestras de Asfaltos. Para extraer la probeta compactada del molde, es de acero, en forma de disco con diámetro de 100 mm (3.95”) y 12.7 (1/2”) de espesor.
- Soporte para molde o portamolde. Dispositivo con resorte de tensión diseñado para sostener rígidamente el molde de compactación sobre el pedestal.
- Mordaza. Consiste en dos segmentos cilíndricos, con un radio de curvatura interior de 50.8 mm (2”) de acero enchapado para facilitar su fácil limpieza. El segmento inferior que terminó en una base plana fue provisto de dos

varillas perpendiculares a la base y que sirven de guía al segmento superior.

El movimiento de este segmento se efectuó sin rozamiento apreciable.

- Medidor de deformación. Consiste en un deformímetro de lectura final fija y dividido en centésimas de milímetro, firmemente sujeto al segmento superior y cuyo vástago se apoyó, cuando se realiza el ensayo, en una palanca ajustable acoplada al segmento inferior.
- Prensa. Para la rotura de las probetas fue mecánica con una velocidad uniforme de desplazamiento de 50 ± 1 mm/min. Puede tener un motor eléctrico unido al mecanismo del pistón de carga.
- Medidor de estabilidad.
- Discos de Papel Filtrante de 4 pulg.
- Horno. El horno estuvo provisto de control termostático, capaz de mantener la temperatura requerida con un error menor de $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($5\text{ }^{\circ}\text{F}$) se emplea para calentar los agregados, material asfáltico, conjunto de compactación y muestra.
- Baño. El baño para agua, de 150 mm (6") de profundidad mínima y controlado termostáticamente para mantener la temperatura a $60^{\circ} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($140^{\circ} \pm 1.8\text{ }^{\circ}\text{F}$), tuvo un falso fondo perforado o estar equipado con un estante para mantener las probetas por lo menos a 50.8 mm (2") sobre el fondo del tanque.
- 2 recipientes de dos litros de capacidad para calentar los agregados y para mezclar el asfalto y agregado.
- Tamices. Conformados por: 50 mm (2"), 37.5 mm (1 1/2"), 25 mm (1"), 19.0 mm (3/4"), 12.5 mm (1/2"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (Nº 4), 2.36 mm (Nº 8), 300 μm (Nº 50), 75 μm (Nº 200).

- Termómetros blindados. De 10°C a 232°C (50°F a 450°F) para determinar las temperaturas del asfalto, agregados y mezcla, con sensibilidad de 3°C. Para la temperatura del baño de agua se utilizó termómetro con escala de 20°C a 70°C y sensibilidad de 0.2°C (68°F a 158°F + 0.4°F).
- Balanza. Para pesar agregados y asfalto de 5kg. De capacidad, y sensibilidad de 1gr.
- Parafina.
- Pírex de 500 cm³.
- Guantes de cuero. Para poder manipular el equipo caliente.
- Crayolas para identificar las probetas.
- Bandejas taradas.
- Espátulas.

2.7 Métodos

El método que se utilizó en este trabajo de investigación fue mediante el método Marshall que consiste en ensayos de mezclas asfálticas, las cuales se desarrolló a detalle, teniendo en cuenta el contenido que establecen las normas técnicas CE. 010 de Pavimentos Urbanos.

2.8 Procedimiento

En este punto se detalla los procedimientos realizados en el Laboratorio de Cerámicos y suelos de la facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Trujillo y determinamos la influencia que tiene el caucho reciclado en la mezcla asfáltica en caliente.

2.8.1 Granulometría

Se realizó la distribución por tamaños de las partículas de un árido para determinar la gradación de materiales para uso como agregados a la mezcla asfáltica.

Para realizar dicho ensayo se colocó en el horno la muestra a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, hasta obtener peso constante. A continuación, seleccionamos tamices con los tamaños adecuados con la finalidad de cumplir con las especificaciones del material a ensayar; se encaja los tamices por tamaño de abertura, se colocó la muestra en el tamiz superior y se efectuó el tamizado de forma manual o por intermedio de un tamizador mecánico, durante un periodo adecuado.

Finalmente se colocó la muestra en una balanza para determinar el peso de la muestra retenido en cada tamiz.

Para nuestro ensayo se tomaron los datos siguientes:

Análisis granulométrico de agregado fino

Detalle de muestra:

Cantera: Sulca el Milagro

Material: Agregado fino

Muestra: 1000.06 g

Tabla 1: Granulometría de agregado fino

MUESTRA:		1000.06	g.				
TAMIZ	ABERTURA (mm.)	PESO TAMIZ (g.)	TAMIZ + MUESTRA (g.)	PESO RETENIDO (g.)	PARCIAL RETENIDO (%)	ACUMULADO (%)	
						RETENIDO	PASANTE
3/8"	9.500	186.32	190.13	3.81	1	1	99
Nº4	4.750	189.87	221.48	31.61	5	5	95
Nº8	2.360	177.56	248.15	70.59	11	16	84
Nº16	1.180	128.21	204.08	75.87	12	28	72
Nº30	0.600	124.67	245.15	120.48	18	46	54
Nº50	0.300	123.66	284.00	160.34	24	70	30
Nº100	0.150	115.14	268.45	153.31	23	94	6
Nº200	0.075	247.01	284.45	37.44	6	100	0
FONDO		218.84	221.75	2.91	0	100	0
PESO TOTAL				656.36	100		

Análisis granulométrico de agregado grueso

Detalle de muestra:

Cantera: Sulca el Milagro
Material: Agregado grueso
Muestra: 2000.02 g

Tabla 2: Granulometría de agregado grueso

TAMIZ	ABERTURA (mm.)	PESO TAMIZ (g.)	TAMIZ + MUESTRA (g.)	PESO RETENIDO (g.)	PARCIAL RETENIDO (%)	ACUMULADO (%)	
						RETENIDO	PASANTE
1 1/2"	37.500	205.4	205.40	0.00	0.00	0	100.00
1"	25.000	175.05	175.05	0.00	0.00	0	100.00
3/4"	19.000	171.01	451	279.99	21.25	21	78.75
1/2"	12.500	204.83	712.41	507.58	38.53	60	40.22
3/8"	9.500	186.32	432.02	245.70	18.65	78	21.57
Nº4	4.750	189.87	458.60	268.73	20.40	99	1.17
Nº8	2.360	177.56	190.98	13.42	1.02	100	0.15
Nº16	1.100	128.21	128.21	0.00	0.00	100	0.15
Nº30	0.600	124.67	124.67	0.00	0.00	100	0.15
Nº50	0.297	123.66	123.66	0.00	0.00	100	0.15
Nº100	0.149	115.14	115.14	0.00	0.00	100	0.15
Nº200	0.075	247.01	248.07	1.06	0.08	100	0.07
FONDO	Fondo	218.84	219.77	0.93	0.07	100	0.00

Análisis granulométrico de mezcla asfáltica

Detalle de muestra:

Material: Agregado grueso

Muestra: 2000.02 g

Figura 4: Granulometría de la mezcla

MALLA SERIE AMERICANA	GRANULOMETRÍA NTP. 339.128 (99)					OBSERVACIONES
	ABERTURA (mm)	PESO RET. (g)	% RET. PARCIAL	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA	
3"	75.000				100.00	<p>CLASIFICACIONES GRANULOMÉTRICAS</p> <p>Grava (%) 33.0 Arena (%) 65.4 Finos(%) 1.6</p> <p>MEZCLA ASFÁLTICA CON 6% DE CEMENTO ASFÁLTICO</p>
2"	50.000				100.0	
1 1/2"	37.500				100.0	
1"	25.000				100.0	
3/4"	19.000	20.9	9.3	9.3	90.7	
1/2"	12.500	20.8	9.3	18.6	81.4	
3/8"	9.500	32.4	14.4	33.0	67.0	
N°4	4.750	25.9	11.6	44.6	55.4	
N°8	2.360	18.9	8.4	53.0	47.0	
N°10	2.000	12.2	5.4	58.4	41.6	
N°16	1.100	14.3	6.4	64.8	35.2	
N°30	0.600	15.2	6.8	71.6	28.4	
N°40	0.425	16.0	7.1	78.7	21.3	
N°50	0.297	13.9	6.2	84.9	15.1	
N°100	0.149	12.4	5.5	90.4	9.6	
N°200	0.075	18.0	8.0	98.4	1.6	
< N°200	Fondo	3.6	1.6	100.0		
Total		224.2	100.0			

2.8.1.1 Gradación

De acuerdo con la tabla de gradación de los agregados para mezclas asfálticas en caliente y al porcentaje que pasa, se utilizó el MAC – 1.

Figura 5: Gradación de los agregados para mezclas asfálticas

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)	08 -17	08 -17	09 -19
75 µm (N° 200)	04 - 08	04 - 08	05 - 10

Fuente: Norma Técnica CE. 010 Pavimentos Urbanos (2010).

2.8.2 Método Marshall

Este ensayo se basó en elaborar probetas dirigido a diseñar una adecuada mezcla asfáltica con un análisis correcto de fluencia, estabilidad, vacíos y densidad. Las probetas elaboradas contemplaran los diámetros de 2.5” de espesor y 4” de diámetro. De tal manera este ensayo se utiliza para determinar el óptimo contenido de asfalto para una mezcla.

Especímenes de ensayo:

Se secó los agregados en el horno a peso constante, a una temperatura de 105 °C a 110°C. Después del secado se tamizó los agregados en fracciones deseadas en las mallas sugeridas:

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)

Después de haber establecido la composición de cada agregado, en tanto por ciento, para obtener la granulometría total de la mezcla deseada, se calculó el peso necesario de cada uno de ellos para mezclar. Los agregados del espécimen se pesaron por separado y se calientan a la temperatura de mezcla. El peso total del agregado se determinó en el siguiente paso.

Por lo general, se prepara un espécimen de prueba, se mide la altura de la muestra (h_1) y verificamos la altura requerida de la muestra Marshall: $63,5 \pm 5,1$ mm ($2,5 \pm 0,20$ pulg.). Si la muestra estuviera fuera de los rangos, se usó la siguiente fórmula para ajustar la cantidad de agregado:

$$Q = (h/h_1) \times 1150 \text{ gr}$$

Donde:

Q: Peso del agregado para un espécimen de 63.5 mm (2.5 pulg.) de altura, gr.

h: Altura requerida, que será de 63.5 mm ó 2.5 pulg.

h_1 : Altura del espécimen de prueba, mm (pulg)

Se calentó el asfalto a la temperatura de mezcla para preparar 18 muestras con 60% arena y 40% piedra, 18 con 40% arena y 60% piedra y tres con porcentajes de caucho 0.5%, 1.0% y 1.5%;

Por otro lado, para hallar el contenido óptimo de asfalto se compactó tres muestras por cada porcentaje de contenido de asfalto, se aumentó el porcentaje de asfalto en un 0,5% y se obtuvo al menos dos contenidos antes y después del contenido óptimo de asfalto.

Además, a base del óptimo contenido de asfalto se determinó el óptimo contenido de caucho realizando ensayos con 0.5%, 1.0% y 1.5% realizando los cálculos (**ANEXOS N° 21 – 24**).

Con el programa de costos y presupuestos **S10** se analizó y comparó los costos entre una mezcla convencional y una mezcla modificada, los precios de asfaltos lo obtuvimos mediante precios establecidos por PETROPERÚ (ANEXO N°83).

2.9 Análisis estadístico

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN DISEÑO COMPLETO AL AZAR (DCA) N° 01

HIPÓTESIS:

Hipótesis Nula.- $H_0 : T_i = 0$ Los promedios de los tratamientos son iguales con respecto al cemento asfáltico mas caucho con deformación o flujo al 40% Grava + 60% de arena.

Hipótesis Alternativa.- $H_i : T_i \neq 0$ Los promedios de los tratamientos son diferentes con respecto al cemento asfáltico mas caucho con deformación o flujo al 40% Grava + 60% de arena.

NIVEL DE SIGNIFICANCIA: $\alpha = 0.05$

ESTADÍSTICA DE PRUEBA: ANOVA

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN MODELO DISEÑO INCOMPLETO AL AZAR

$$M_{yy} = \frac{(\sum Y_{ij})^2}{nt} \quad T_{yy} = \frac{\sum T_i^2}{ni} - M_{yy} \quad E_{yy} = \sum Y_{ij}^2 - M_{yy} - T_{yy}$$

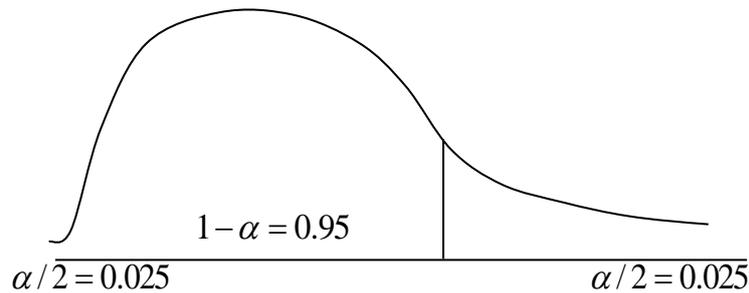
$$M_{yy} = \frac{91.57^2}{9} = 931.67 \quad T_{yy} = \frac{28.28^2}{3} + \frac{29.16^2}{3} + \frac{34.13^2}{3} - 931.67 = 6.63$$

$$E_{yy} = 943.28 - 931.67 - 6.63 = 4.997$$

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN MODELO DISEÑO INCOMPLETO AL AZAR

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Prueba Fc	Ftabla
Media	931.17	1			
Tratamiento	6.63	2	3.32	3.997	0.025 y 7.26
Error	4.997	6	0.83		
Total	943.28	09			

REGIONES:



$$F_t = 0.025$$

$$F_t = 7.26$$

DECISIÓN:

Ho se Acepta, por lo tanto, los tratamientos de los promedios son iguales con respecto al cemento asfáltico más caucho con deformación o flujo al 40% Grava + 60% de arena, mediante el Análisis de Varianza (ANOVA) a un nivel de significancia del 5%.

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN DISEÑO COMPLETO AL AZAR (DCA) N° 02

HIPÓTESIS:

Hipótesis Nula.- $H_0 : T_i = 0$ Los promedios de los tratamientos son iguales con respecto al cemento asfáltico con deformación o flujo al 40% Grava + 60% de arena.

Hipótesis Alternativa.- $H_i : T_i \neq 0$ Los promedios de los tratamientos son diferentes con respecto al cemento asfáltico con deformación o flujo al 40% Grava + 60% de arena.

NIVEL DE SIGNIFICANCIA: $\alpha = 0.05$

ESTADÍSTICA DE PRUEBA: ANOVA

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN MODELO DISEÑO INCOMPLETO AL AZAR

$$M_{yy} = \frac{(\sum Y_{ij})^2}{nt} \quad T_{yy} = \frac{\sum T_i^2}{ni} - M_{yy} \quad E_{yy} = \sum Y_{ij}^2 - M_{yy} - T_{yy}$$

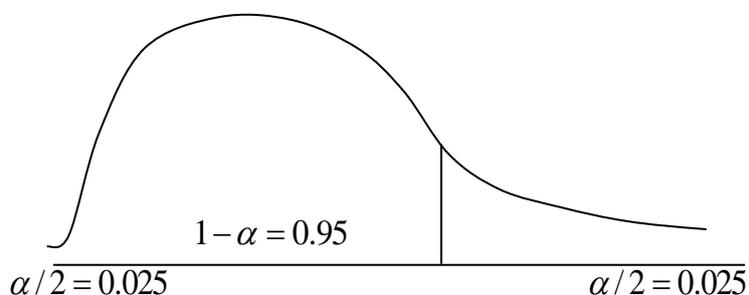
$$M_{yy} = \frac{23.85^2}{21} = 2177.71 \quad T_{yy} = 2185.47 - 2177.71 = 7.76$$

$$E_{yy} = 2188.41 - 2177.71 - 7.76 = 2.94$$

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN MODELO DISEÑO INCOMPLETO AL AZAR

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Prueba Fc	Ftabla
Media	2177.71	1			
Tratamiento	7.76	6	1.29	6.15	0.19 y 3.52
Error	2.94	14	0.21		
Total	2188.41	21			

REGIONES:



$$F_i = 0.19$$

$$F_i = 3.52$$

DECISIÓN:

Ho se Rechaza, por lo tanto, los tratamientos de Los promedios de los tratamientos son diferentes con respecto al cemento asfáltico con deformación o flujo al 40% Grava + 60% de arena, mediante el Análisis de Varianza (ANOVA) a un nivel de significancia del 5%.

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN DISEÑO COMPLETO AL AZAR (DCA) N° 03

HIPÓTESIS:

Hipótesis Nula.- $H_o : T_i = 0$ Los promedios de los tratamientos son iguales con respecto al cemento asfáltico con deformación o flujo al 60% Grava + 40% de arena.

Hipótesis Alternativa. - $H_i : T_i \neq 0$ Los promedios de los tratamientos son diferentes con respecto al cemento asfáltico con deformación o flujo al 60% Grava + 40% de arena.

NIVEL DE SIGNIFICANCIA: $\alpha = 0.05$

ESTADÍSTICA DE PRUEBA: ANOVA

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN MODELO DISEÑO INCOMPLETO AL AZAR

$$M_{yy} = \frac{(\sum Y_{ij})^2}{nt} \quad T_{yy} = \frac{\sum T_i^2}{ni} - M_{yy} \quad E_{yy} = \sum Y_{ij}^2 - M_{yy} - T_{yy}$$

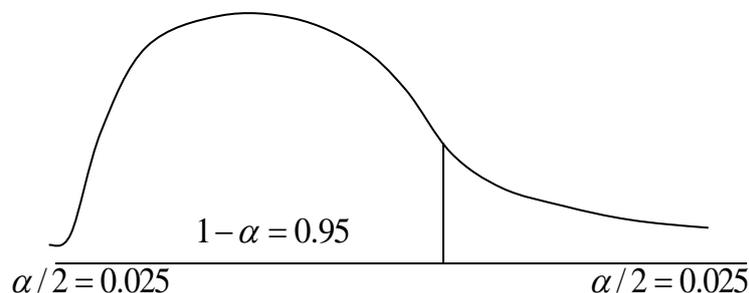
$$M_{yy} = \frac{230.99^2}{21} = 2540.78 \quad T_{yy} = 2568.52 - 2540.78 = 27.74$$

$$E_{yy} = 2577.21 - 2540.78 - 27.74 = 8.69$$

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN MODELO DISEÑO INCOMPLETO AL AZAR

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Prueba Fc	Ftabla
Media	2540.78	1			
Tratamiento	27.74	6	4.62	7.45	0.19 y 3.52
Error	8.69	14	0.62		
Total	2577.21	21			

REGIONES:



$$F_t = 0.19$$

$$F_t = 3.52$$

DECISIÓN:

Ho se Rechaza, por lo tanto, los tratamientos de Los promedios de los tratamientos son diferentes con respecto al cemento asfáltico con deformación o flujo al 60% Grava + 40% de arena., mediante el Análisis de Varianza (ANOVA) a un nivel de significancia del 5%.

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN DISEÑO COMPLETO AL AZAR (DCA) N° 04

HIPÓTESIS:

Hipótesis Nula.- $H_0 : T_i = 0$ Los promedios de los tratamientos son iguales con respecto al cemento asfáltico más caucho ESTABILIDAD al 40% Grava + 60% de arena.

Hipótesis Alternativa.- $H_i : T_i \neq 0$ Los promedios de los tratamientos son diferentes con respecto al cemento asfáltico más caucho ESTABILIDAD al 40% Grava + 60% de arena.

NIVEL DE SIGNIFICANCIA: $\alpha = 0.05$

ESTADÍSTICA DE PRUEBA: ANOVA

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN MODELO DISEÑO INCOMPLETO AL AZAR

$$M_{yy} = \frac{(\sum Y_{ij})^2}{nt} \quad T_{yy} = \frac{\sum T_i^2}{ni} - M_{yy} \quad E_{yy} = \sum Y_{ij}^2 - M_{yy} - T_{yy}$$

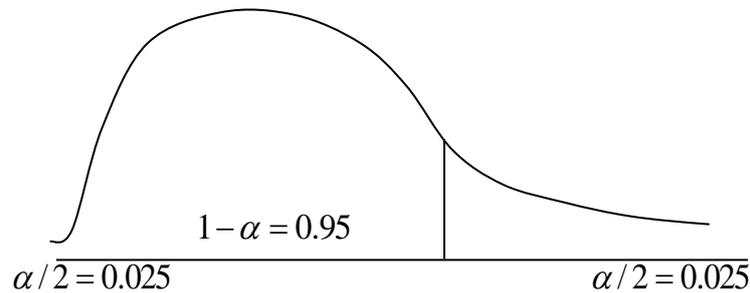
$$M_{yy} = \frac{88.77^2}{9} = 875.57 \quad T_{yy} = 881.49 - 875.57 = 5.92$$

$$E_{yy} = 881.52 - 875.57 - 5.92 = 0.03$$

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN MODELO DISEÑO INCOMPLETO AL AZAR

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Prueba Fc	Ftabla
Media	875.57	1			
Tratamiento	5.92	2	2.96	690.56	0.025 y 7.26
Error	0.03	6	0.004		
Total	881.52	09			

REGIONES:



$$F_t = 0.025$$

$$F_t = 7.26$$

DECISIÓN:

Ho se Rechaza, por lo tanto, los promedios de los tratamientos son diferentes con respecto al cemento asfáltico más caucho ESTABILIDAD al 40% Grava + 60% de arena, mediante el Análisis de Varianza (ANOVA) a un nivel de significancia del 5%.

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN DISEÑO COMPLETO AL AZAR (DCA) N° 05

HIPÓTESIS:

Hipótesis Nula.- $H_o : T_i = 0$ Los promedios de los tratamientos son iguales con respecto al cemento asfáltico ESTABILIDAD al 40% Grava + 60% de arena.

Hipótesis Alternativa.- $H_i : T_i \neq 0$ Los promedios de los tratamientos son diferentes con respecto al cemento asfáltico ESTABILIDAD al 40% Grava + 60% de arena.

NIVEL DE SIGNIFICANCIA: $\alpha = 0.05$

ESTADÍSTICA DE PRUEBA: ANOVA

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN MODELO DISEÑO INCOMPLETO AL AZAR

$$M_{yy} = \frac{(\sum Y_{ij})^2}{nt}$$

$$T_{yy} = \frac{\sum T_i^2}{ni} - M_{yy}$$

$$E_{yy} = \sum Y_{ij}^2 - M_{yy} - T_{yy}$$

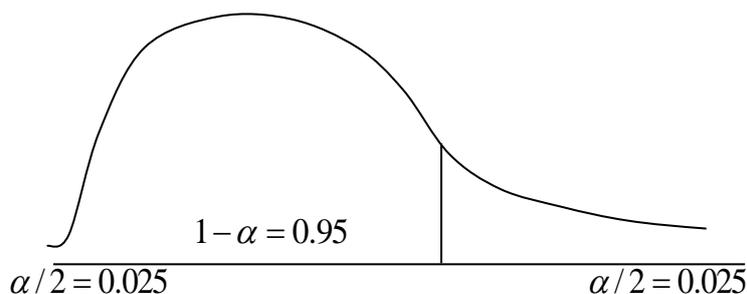
$$M_{yy} = \frac{163.25^2}{21} = 1269.07 \quad T_{yy} = 1277.24 - 1269.07 = 8.16$$

$$E_{yy} = 1281.42 - 1269.07 - 8.16 = 4.18$$

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN MODELO DISEÑO INCOMPLETO AL AZAR

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Prueba Fc	Ftabla
Media	1269.07	1			
Tratamiento	8.16	6	1.36	4.55	0.19 y 3.52
Error	4.18	14	0.2988		
Total	1281.42	21			

REGIONES:



$$F_t = 0.19$$

$$F_t = 3.52$$

DECISIÓN:

Ho se Rechaza, por lo tanto, los tratamientos de Los promedios de los tratamientos son diferentes con respecto al cemento asfáltico ESTABILIDAD al 40% Grava + 60% de arena, mediante el Análisis de Varianza (ANOVA) a un nivel de significancia del 5%.

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN DISEÑO COMPLETO AL AZAR (DCA) N° 06

HIPÓTESIS:

Hipótesis Nula.- $H_o : T_i = 0$ Los promedios de los tratamientos son iguales con respecto al cemento asfáltico ESTABILIDAD al 60% Grava + 40% de arena.

Hipótesis Alternativa. - $H_i : T_i \neq 0$ Los promedios de los tratamientos son diferentes con respecto al cemento asfáltico ESTABILIDAD al 60% Grava + 40% de arena.

NIVEL DE SIGNIFICANCIA: $\alpha = 0.05$

ESTADÍSTICA DE PRUEBA: ANOVA

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN MODELO DISEÑO INCOMPLETO AL AZAR

$$M_{yy} = \frac{(\sum Y_{ij})^2}{nt} \quad T_{yy} = \frac{\sum T_i^2}{ni} - M_{yy} \quad E_{yy} = \sum Y_{ij}^2 - M_{yy} - T_{yy}$$

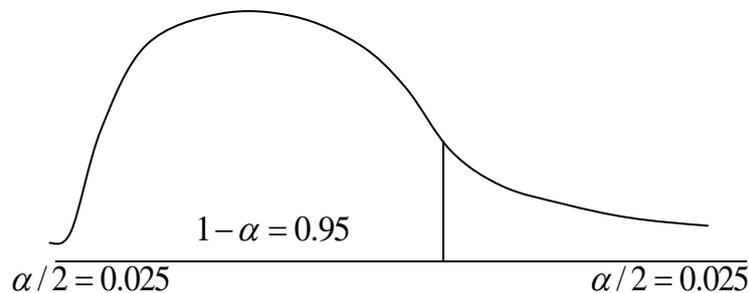
$$M_{yy} = \frac{137.40^2}{21} = 898.99 \quad T_{yy} = 906 - 898.99 = 7.02$$

$$E_{yy} = 910.44 - 898.99 - 7.02 = 4.44$$

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN MODELO DISEÑO INCOMPLETO AL AZAR

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Prueba Fc	Ftabla
Media	898.99	1			
Tratamiento	7.02	6	1.17	3.69	0.19 y 3.52
Error	4.44	14	0.32		
Total	910.44	21			

REGIONES:



$$F_t = 0.19$$

$$F_t = 3.52$$

DECISIÓN:

Ho se Rechaza, por lo tanto, los tratamientos de Los promedios de los tratamientos son diferentes con respecto al cemento asfáltico ESTABILIDAD al 60% Grava + 40% de arena., mediante el Análisis de Varianza (ANOVA) a un nivel de significancia del 5%.

Análisis de Regresión

CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS N° 01

HIPÓTESIS.-

Ho: NO Existe relación significativa entre el cemento asfáltico más caucho al 40% grava + 60% arena (% de vacíos y densidad)

H1: Existe relación significativa entre el cemento asfáltico más caucho al 40% grava + 60% arena (% de vacíos y densidad)

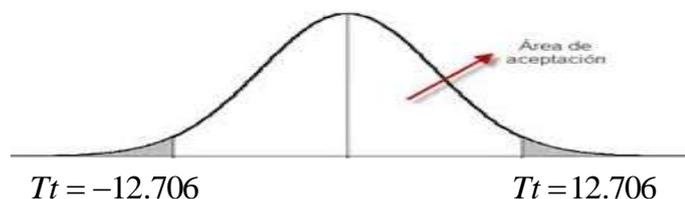
NIVEL DE SIGNIFICANCIA: $\alpha = 0.05$

ESTADÍSTICA DE PRUEBA: T de student (coeficiente r de pearson)

$$T = \frac{r}{\sqrt{\frac{(1-r^2)}{n-2}}} = \frac{0.99999}{\sqrt{\frac{(1-(0.99999)^2)}{3-2}}} = 223.61$$

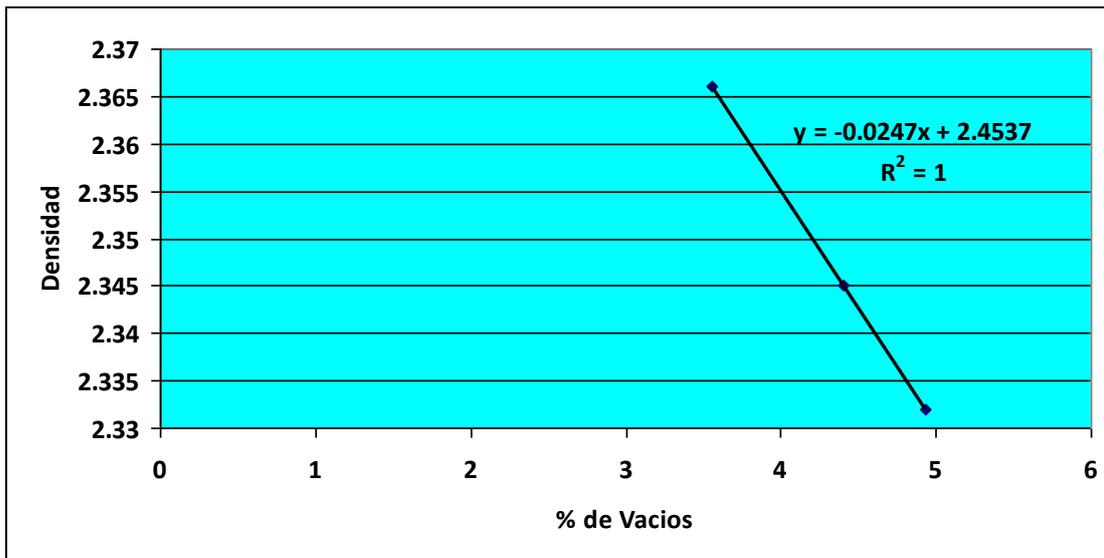
Grado de libertad $n-2=3-2=01$ $T_{tabla}=12.706$ con un nivel de significancia del 5%

REGIONES



DECISIÓN: Ho se Rechaza, por lo tanto, Existe relación significativa entre el cemento asfáltico más caucho al 40% grava + 60% arena (% de vacíos y densidad)

Ecuación de regresión entre % de vacíos y densidad (cemento asfáltico más caucho al 40% grava + 60% arena)



CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS N° 02

HIPÓTESIS.-

H₀: NO Existe relación significativa entre el cemento asfáltico al 40% grava + 60% arena (% de vacíos y densidad)

H₁: Existe relación significativa entre el cemento asfáltico al 40% grava + 60% arena (% de vacíos y densidad)

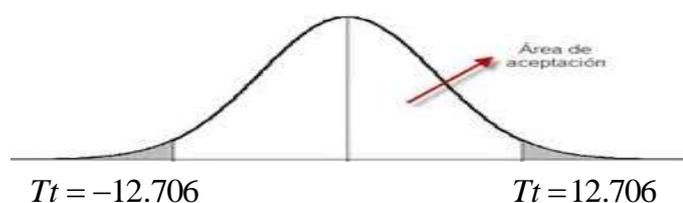
NIVEL DE SIGNIFICANCIA: $\alpha = 0.05$

ESTADÍSTICA DE PRUEBA: T de student (coeficiente r de pearson)

$$T = \frac{r}{\sqrt{\frac{(1-r^2)}{n-2}}} = \frac{0.4962}{\sqrt{\frac{(1-(0.4962)^2)}{3-2}}} = 0.5715$$

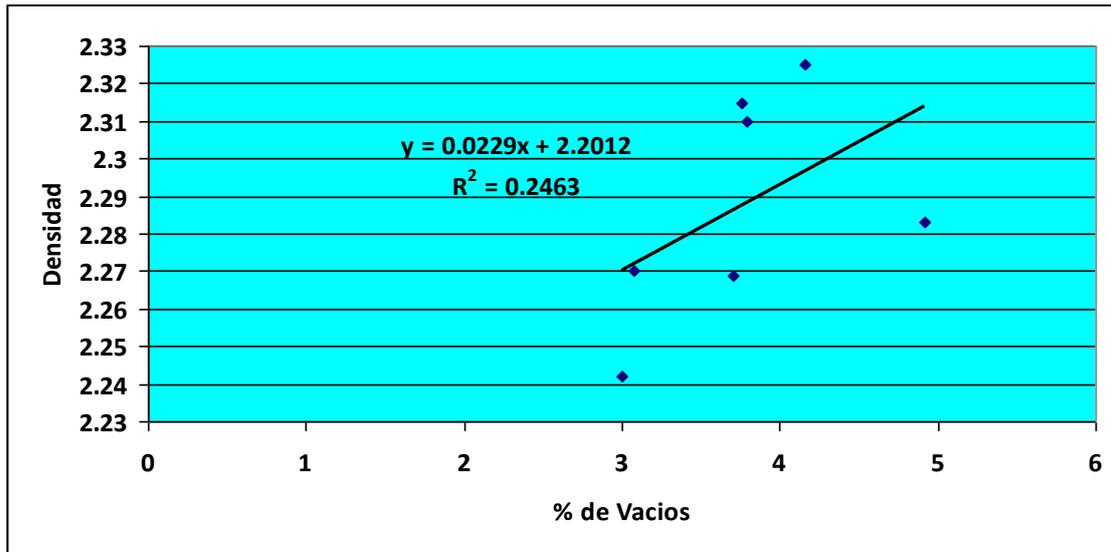
Grado de libertad $n-2=3-2=01$ T_{tabla}=12.706 con un nivel de significancia del 5%

REGIONES



DECISIÓN: Ho se Acepta, por lo tanto, NO Existe relación significativa entre el cemento asfáltico al 40% grava + 60% arena (% de vacíos y densidad)

Ecuación de regresión entre % de vacíos y densidad (cemento asfáltico al 40% grava + 60% arena)



CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS N° 03

HIPÓTESIS.-

Ho: NO Existe relación significativa entre el cemento asfáltico al 60% grava + 40% arena (% de vacíos y densidad)

H1: Existe relación significativa entre el cemento asfáltico al 60% grava + 40% arena (% de vacíos y densidad)

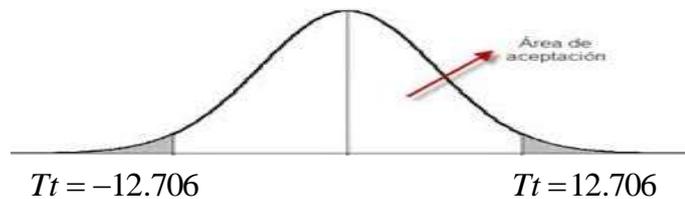
NIVEL DE SIGNIFICANCIA: $\alpha = 0.05$

ESTADÍSTICA DE PRUEBA: T de student (coeficiente r de pearson)

$$T = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}} = \frac{0.5241}{\sqrt{\frac{1-(0.5241)^2}{3-2}}} = 0.6154$$

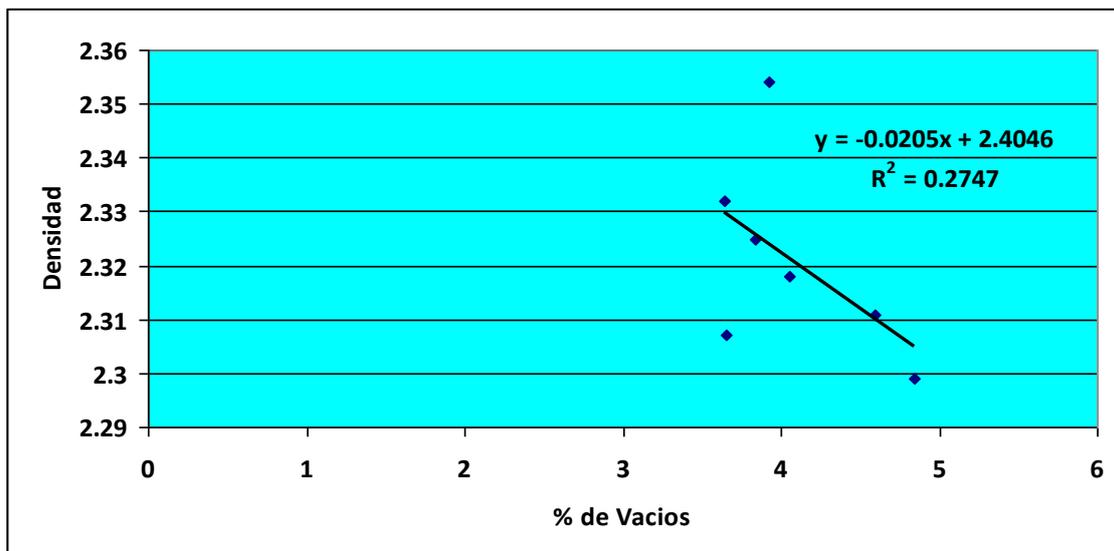
Grado de libertad $n-2=3-2=01$ $T_{\text{tabla}}=12.706$ con un nivel de significancia del 5%

REGIONES



DECISIÓN: Ho se Acepta, por lo tanto, NO Existe relación significativa entre el cemento asfáltico al 60% grava + 40% arena (% de vacíos y densidad)

Ecuación de regresión entre % de vacíos y densidad (cemento asfáltico al 60% grava + 40% arena)



2.10 Aspectos éticos

El presente trabajo de investigación se desarrolló de una determinada cantidad de tesis, artículos, libros, informes, revistas, etc. Considerando la autenticidad y validez de la fuente. En este estudio también se utilizó la norma técnica de pavimentos urbanos CE.010, Manual Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción_10 Eg 2013 y el Manual de Laboratorio de Ensayos para Pavimentos Volumen I, y se respetó la información empleada en la presente investigación, por los autores no han recurrido al plagio de acuerdo con la Ley

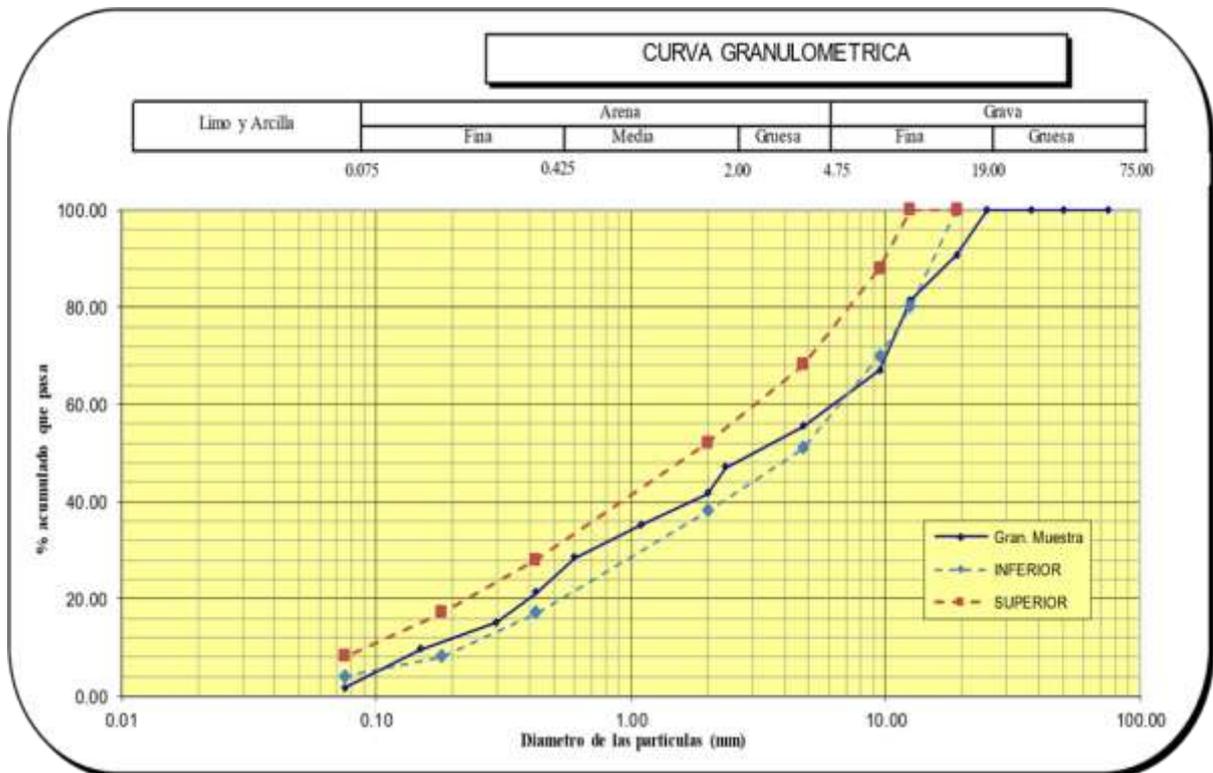
de derechos de propiedad intelectual bajo el Decreto No. 822. Este estudio se basa en la séptima edición del estándar APA. Según el Colegio de Ingenieros del Peruano (CIP), la ética profesional es la formulación y perfeccionamiento de un conjunto de normas y valores para el desarrollo de las actividades profesionales, y es también un código ético para el desarrollo del trabajo a través de valores universales.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Granulometría

La Figura 4 muestra la granulometría de la mezcla de agregados, considerando que la curva de tamaño de partícula está dentro del rango de parámetros de clasificación de agregados dados en la norma técnica CE. 010 Pavimentos Urbanos.

Figura 6: Granulometría de la mezcla de agregados



3.2 Método Marshall

Para la mezcla asfáltica convencional (ASTM D6926 / ASTM D6927) se utilizaron agregados (% en peso) de la cantera Sulca – El Milagro Piedra $\frac{3}{4}$ " 40%, Arena 60%. De acuerdo con la granulometría, el porcentaje que pasa la maya $\frac{3}{4}$ " está entre 80% y 100%, por lo que la gradación es MAC – 1, el ligante fue del tipo de asfalto: 60/70 y el porcentaje óptimo de C.A. es 6.0%

En la tabla 3 se observa las características marshal de la mezcla para cada porcentaje de asfalto. Para un 5.0% de Pb tenemos 2.49 gr/cm³ de G_{se}, 2.318 gr/cm³ de G_{mm}, 2.216

gr/cm³ de Gmb, 4.39% de Va. Para todos los porcentajes de caucho usados, se obtuvo una gravedad específica de 2.406 gr/cm³.

Tabla 3: Resultados obtenidos mediante el ensayo Marshall para mezcla asfáltica convencional.

Porcentaje de asfalto (Pb)	Gravedad Específica neta del agregado (Gsb) (gr/cm ³)	Gravedad específica efectiva (Gse) (gr/cm ³)	Gravedad teórica máxima de la mezcla (Gmm) (gr/cm ³)	Densidad (Gmb) (gr/cm ³)	Vacíos (Va) (%)
5.0%		2.48	2.318	2.216	4.39
5.5%		2.54	2.349	2.254	4.03
6.0%		2.58	2.363	2.273	3.81
6.5%	2.406	2.69	2.433	2.339	3.87
7.0%		2.68	2.408	2.321	3.61
7.5%		2.70	2.409	2.322	3.59
8.0%		2.73	2.413	2.332	3.37

En la tabla 4 se observa las características marshall de la mezcla asfáltica para cada porcentaje de asfalto. Para un 6.0% de Pb, se obtiene un % V.M.A. de 11.20%, % V.F.A. de 64.82%, flujo 8.81 mm y estabilidad de 9.88 KN. Ahora si se utiliza 8.0% de Pb se obtiene un % V.M.A. de 10.83%, % V.F.A. de 68.91%, flujo 10.73 mm y estabilidad de 7.98 KN.

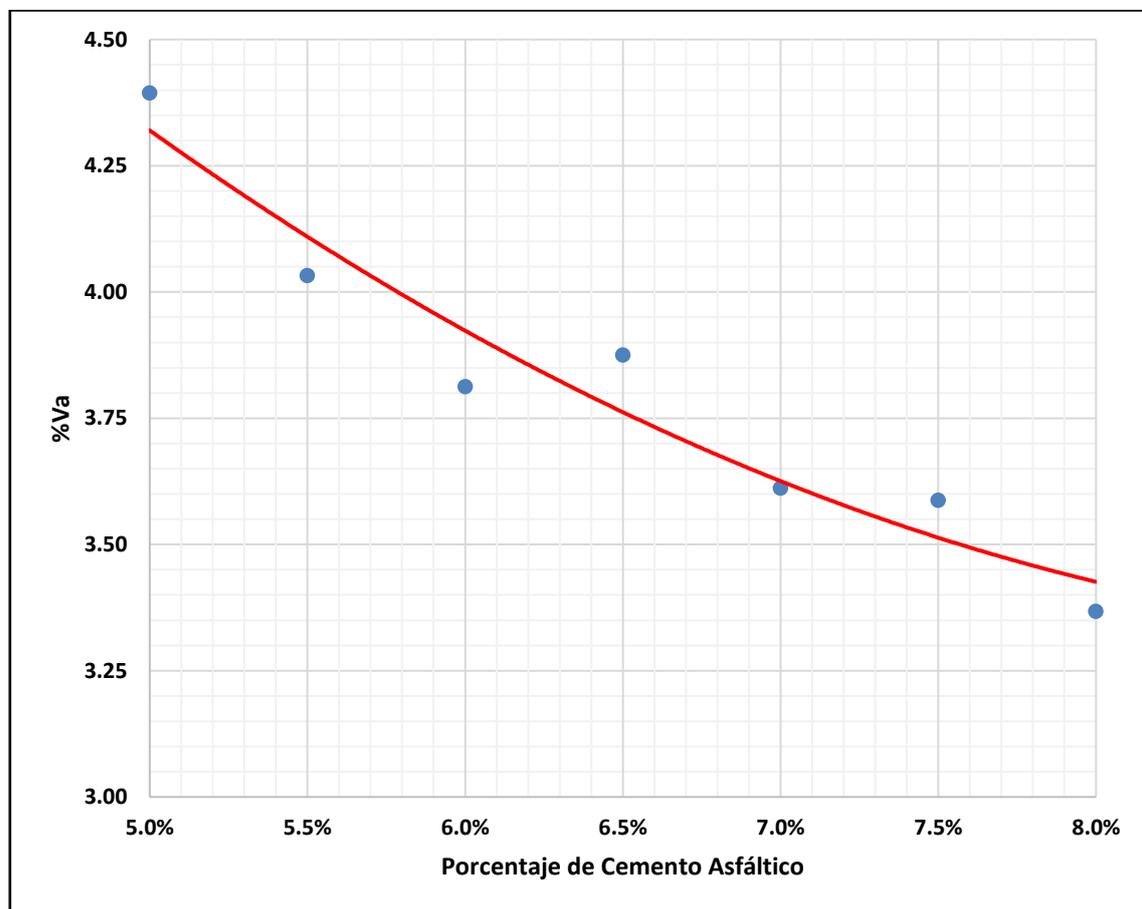
Tabla 4: Resultados obtenidos mediante el ensayo Marshall para mezcla asfáltica convencional.

Porcentaje de asfalto (Pb)	VMA (%)	Vacíos llenados con asfalto (VFA) (%)	Porcentaje de asfalto absorbido (Pba) (%)	Contenido de asfalto efectivo (Pbe) (%)	Flujo (0.25 mm)	Estabilidad (KN)
5.0%	12.49	64.82	1.322	3.744	8.70	8.81
5.5%	12.49	64.81	2.246	3.378	9.04	9.40
6.0%	11.20	65.95	2.839	3.331	8.81	9.88
6.5%	9.09	57.37	4.508	2.285	10.09	9.13
7.0%	10.27	64.84	4.364	2.942	10.43	8.56
7.5%	10.71	66.52	4.707	3.146	10.51	8.32
8.0%	10.83	68.91	5.129	3.281	10.73	7.98

La temperatura de aplicación de la mezcla (°C) fue de 153 °C – 158 °C, en cuanto a la temperatura de compactación fue de 144°C – 147°C.

En la figura 7 se observa la relación entre porcentaje de cemento asfáltico y porcentaje de vacíos, cuando se aplica a la mezcla un porcentaje de 5.0% de cemento asfáltico, se tiene un porcentaje de vacíos de 4.39, y si se aplica un %C.A. de 6.0, se tiene un %Va de 3.81. Se observa que a medida que aumenta el porcentaje de C.A., el porcentaje de vacíos disminuye. Como se puede ver, los resultados obtenidos para diferentes %C.A. (5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5%, 7%, 7.5% y 8.0%) están dentro de los parámetros de diseño, siendo el %C.A. de 8.0 el más bajo obtenido.

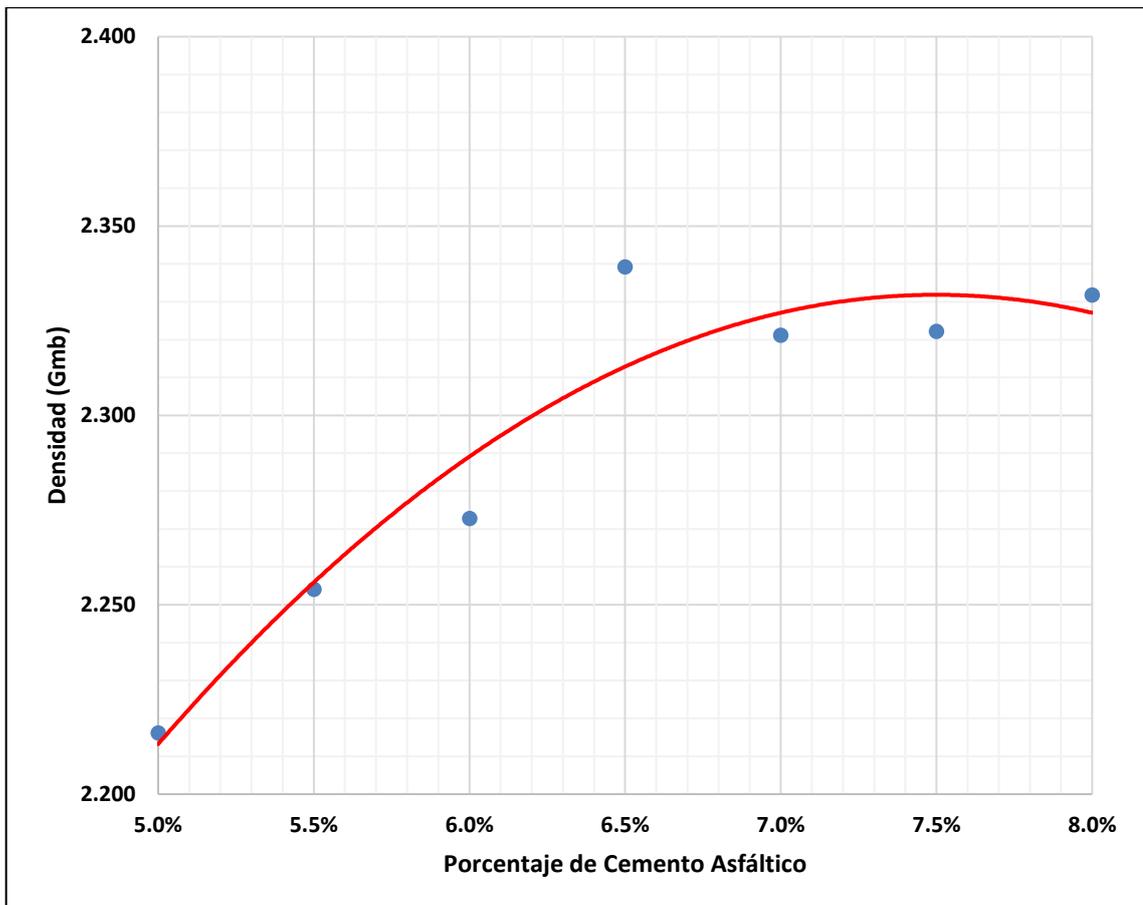
Figura 7: Porcentaje de Cemento Asfáltico vs % Vacíos



Fuente: Elaboración propia en laboratorio de Cerámicos y Suelos UNT.

En la figura 8 se observa la relación entre el %C.A. y la densidad (gravedad específica de la mezcla), a un porcentaje de C.A. de 5.0% se tiene una densidad de 2.116 g/cm³, mientras que a un porcentaje de C.A. de 8.0%, se obtiene una densidad de 2.332 g/cm³. La densidad máxima se obtiene cuando se usa un porcentaje de 6.0%, el cual nos da un valor de 2.273 g/cm³.

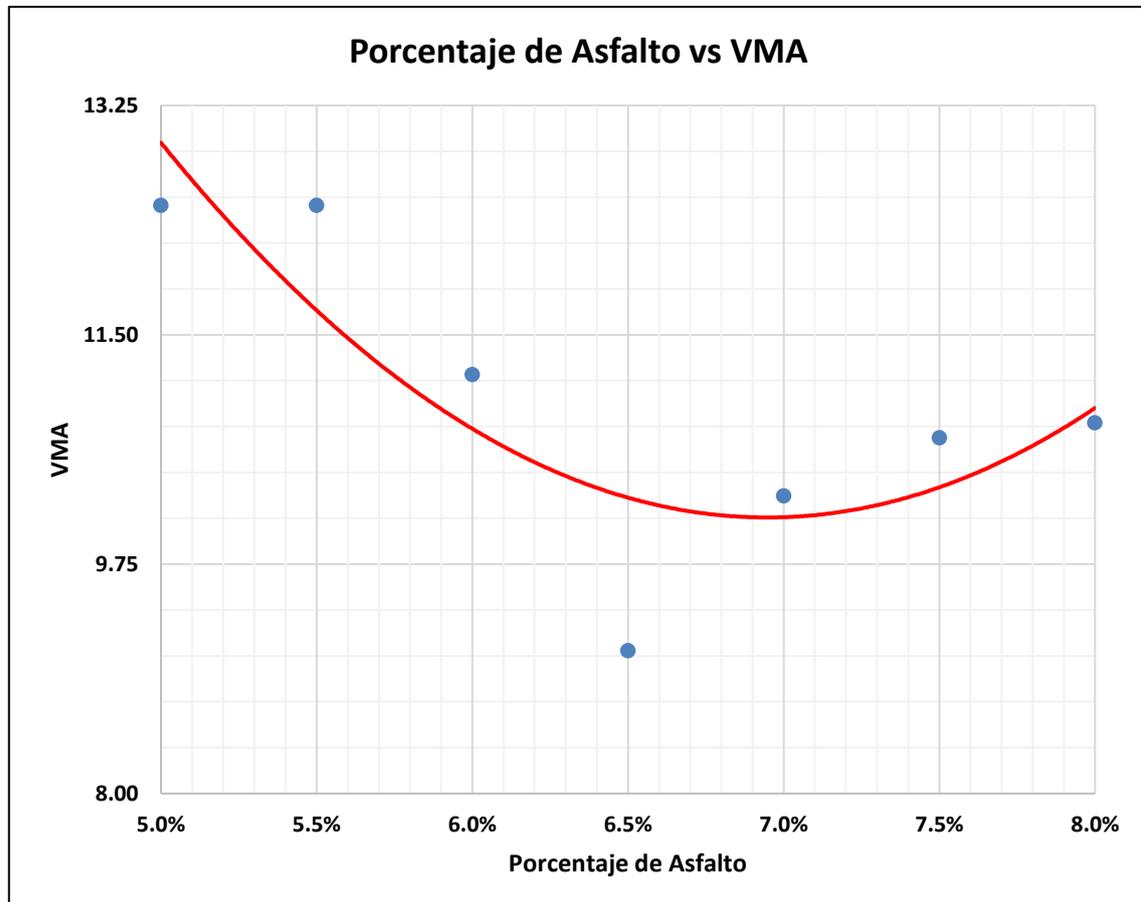
Figura 8: Relación Porcentaje de Cemento Asfáltico vs Densidad



En la figura 9 se observa la relación entre el porcentaje de vacíos en el agregado mineral y el porcentaje de cemento asfáltico, a un %C.A. de 5.0% se obtiene un %V.A.M. de 12.49%, mientras que si se aplica un %C.A. de 8.0%, el porcentaje de vacíos en el agregado mineral es de 10.83%. Se puede visualizar que cuando se usa 6.5%

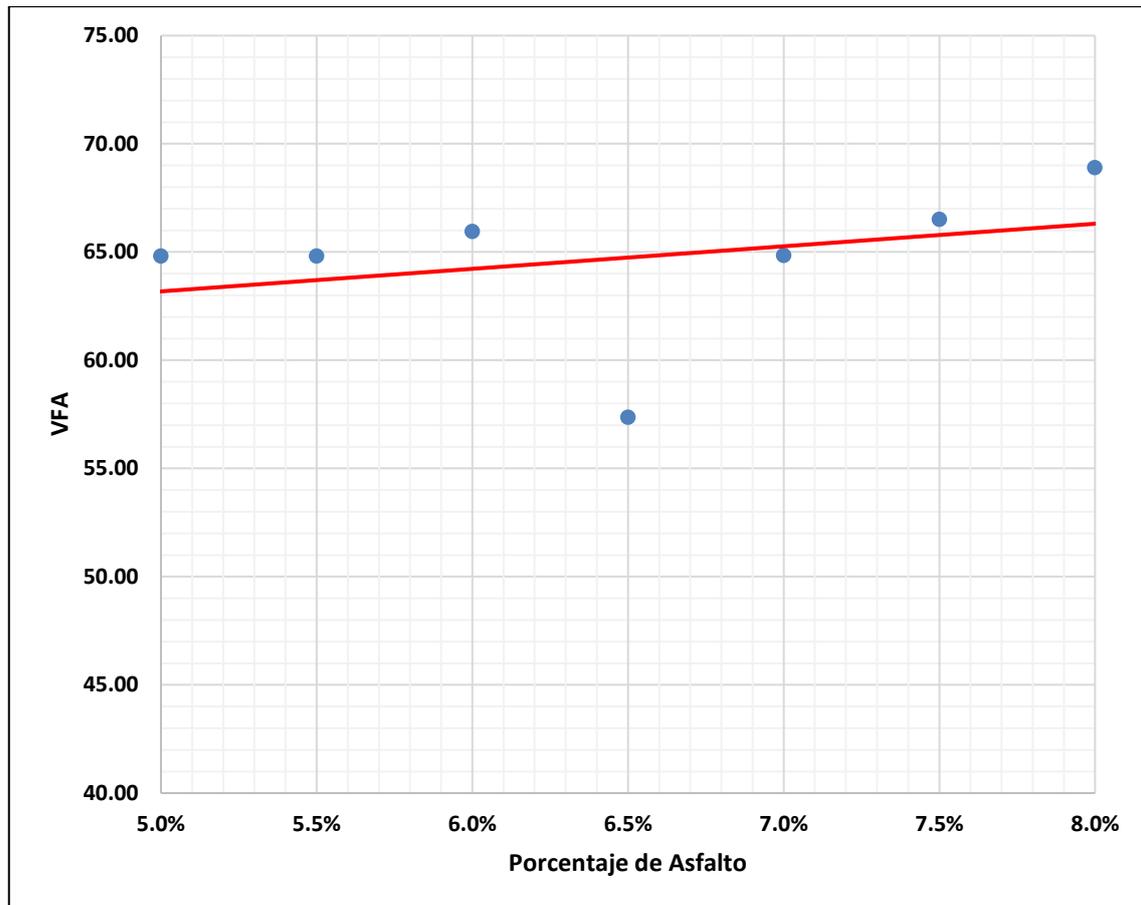
se obtiene un %V.M.A. mínimo, sin embargo, a medida que se aumenta el %C.A., aumenta gradualmente el porcentaje de vacíos en el agregado mineral.

Figura 9: Relación % Cemento Asfáltico vs % Vacíos en el Agregado Mineral



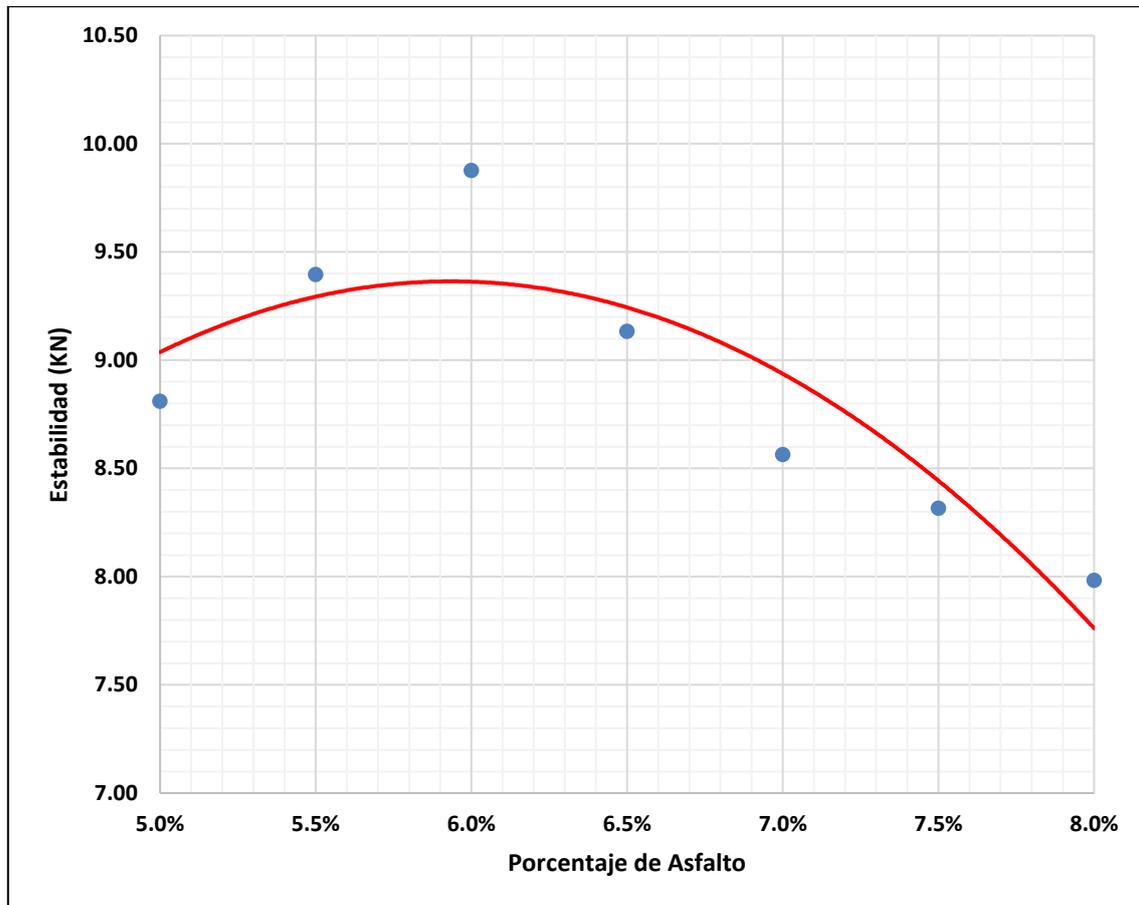
En la figura 10 se observa la relación de cemento asfáltico y el porcentaje de vacíos llenados con asfalto. Cuando se aplica un %C.A. de 5.0% se tiene un %V.F.A. de 64.82%, mientras que si se aplica un %C.A. de 8.0% se tiene un porcentaje de vacíos llenados con asfalto de 68.91%. Se puede visualizar que mientras más se aumenta el %C.A. también aumenta el %V.F.A.

Figura 10: Relación % Cemento asfáltico vs % Vacíos Llenados con Asfalto



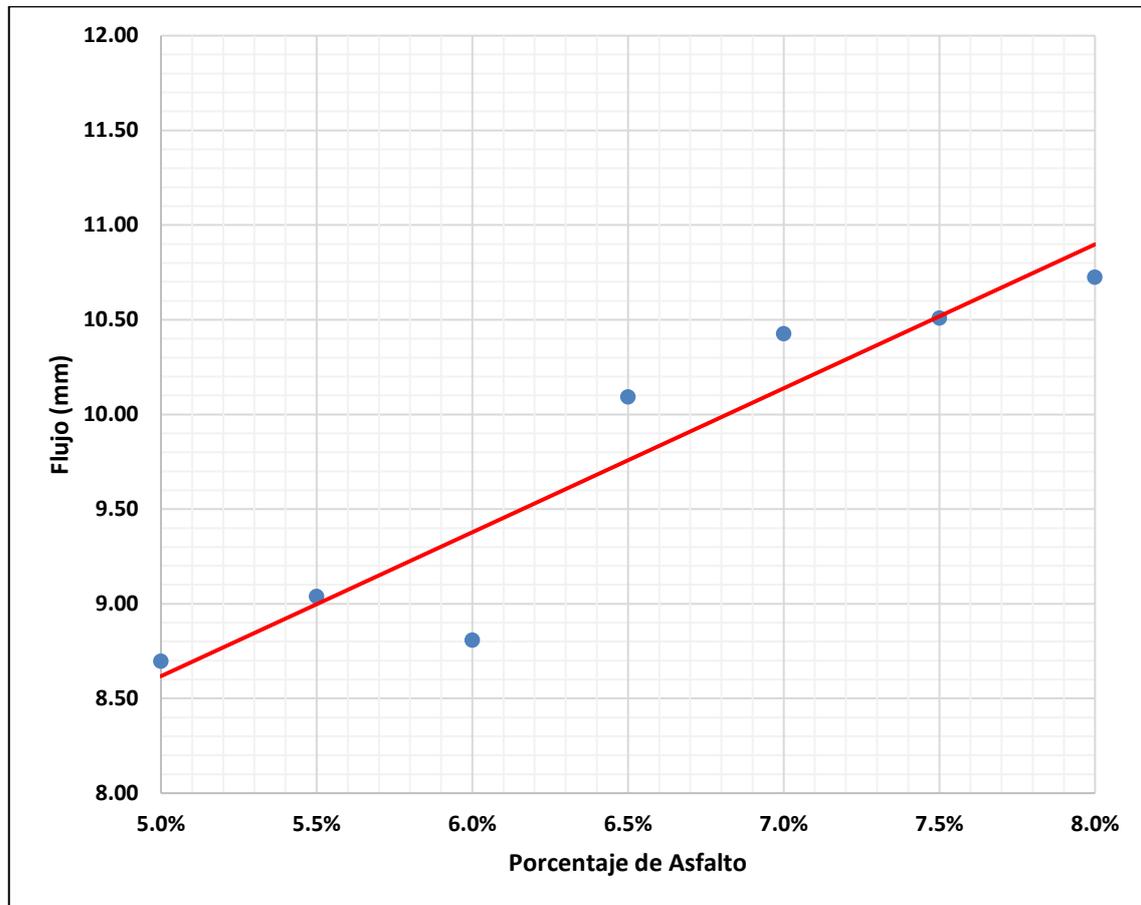
En la figura 11 se observa la relación entre %C.A. y la estabilidad, a un porcentaje de cemento asfáltico de 5.0%, se obtiene una estabilidad de 8.81 KN, mientras que a un porcentaje de C.A. de 6.0% se obtiene una estabilidad de 9.88 KN (este es el máximo valor obtenido para la estabilidad), y por el sentido de la curva, si se aumenta más el %C.A., disminuye. Como se puede ver, los resultados obtenidos para diferentes %C.A. están dentro de los parámetros de diseño.

Figura 11: Relación porcentaje de Cemento Asfáltico vs Estabilidad.



En la figura 12 se observa la relación entre el porcentaje de cemento asfáltico y el flujo, a un %C.A. de 5.0 se obtiene un flujo de 8.70 mm, mientras que si se aplica un %C.A. de 8.0 se obtiene un flujo de 10.73 mm. Se puede visualizar que a medida que se aumenta el %C.A. también aumenta el flujo. Como se puede ver, los resultados obtenidos para diferentes %C.A. están dentro de los parámetros de diseño.

Figura 12: Relación porcentaje de Cemento Asfáltico vs Flujo.



Para la siguiente mezcla asfáltica convencional (ASTM D6926 / ASTM D6927) se utilizó agregados (% en peso) de la cantera Sulca – El Milagro, piedra $\frac{3}{4}$ ” 60%, arena 40%. La gradación fue la MAC – 1, ligante tipo de asfalto 60/70 y el porcentaje óptimo de C.A. fue de 6.0%

En la tabla 5 se observa los resultados obtenidos del ensayo Marshall para diferentes porcentajes de asfalto, con un porcentaje de arena del 40% y 60% piedra. Para 5.0% de Pb, se obtiene 2.58 gr/cm³ de Gse, 2.402 gr/cm³ de Gmm, 2.259 gr/cm³ de Gmb y 5.94% Va. Para 8.0%, 2.458 gr/cm³ de Gmm, 2.364 gr/cm³ de Gmb y 3.82% Va.

Tabla 5: Resultado obtenido mediante el ensayo Marshall.

Porcentaje de asfalto (Pb) (%)	Gravedad Específica neta del agregado (Gsb) (gr/cm ³)	Gravedad específica efectiva (Gse) (gr/cm ³)	Gravedad teórica máxima de la mezcla (Gmm) (gr/cm ³)	Densidad (Gmb) (gr/cm ³)	Vacíos (Va) (%)
5.0%		2.58	2.402	2.259	5.94
5.5%		2.64	2.428	2.293	5.55
6.0%		2.65	2.423	2.295	5.30
6.5%	2.414	2.68	2.425	2.304	4.98
7.0%		2.70	2.424	2.312	4.62
7.5%		2.73	2.430	2.332	4.02
8.0%		2.80	2.458	2.364	3.82

En la tabla 6 se observa los resultados obtenidos del ensayo Marshall para diferentes porcentajes de asfalto, con un porcentaje de arena del 40% y 60% piedra. Para un 6.0% de Pb, se obtiene un % V.M.A. de 10.64%, % V.F.A. de 50.14%, flujo 9.71 mm y estabilidad de 6.34 KN. Ahora si se utiliza 8.0% de Pb se obtiene un % V.M.A. de 9.91%, % V.F.A. de 61.48%, flujo 10.73 mm y estabilidad de 6.87 KN.

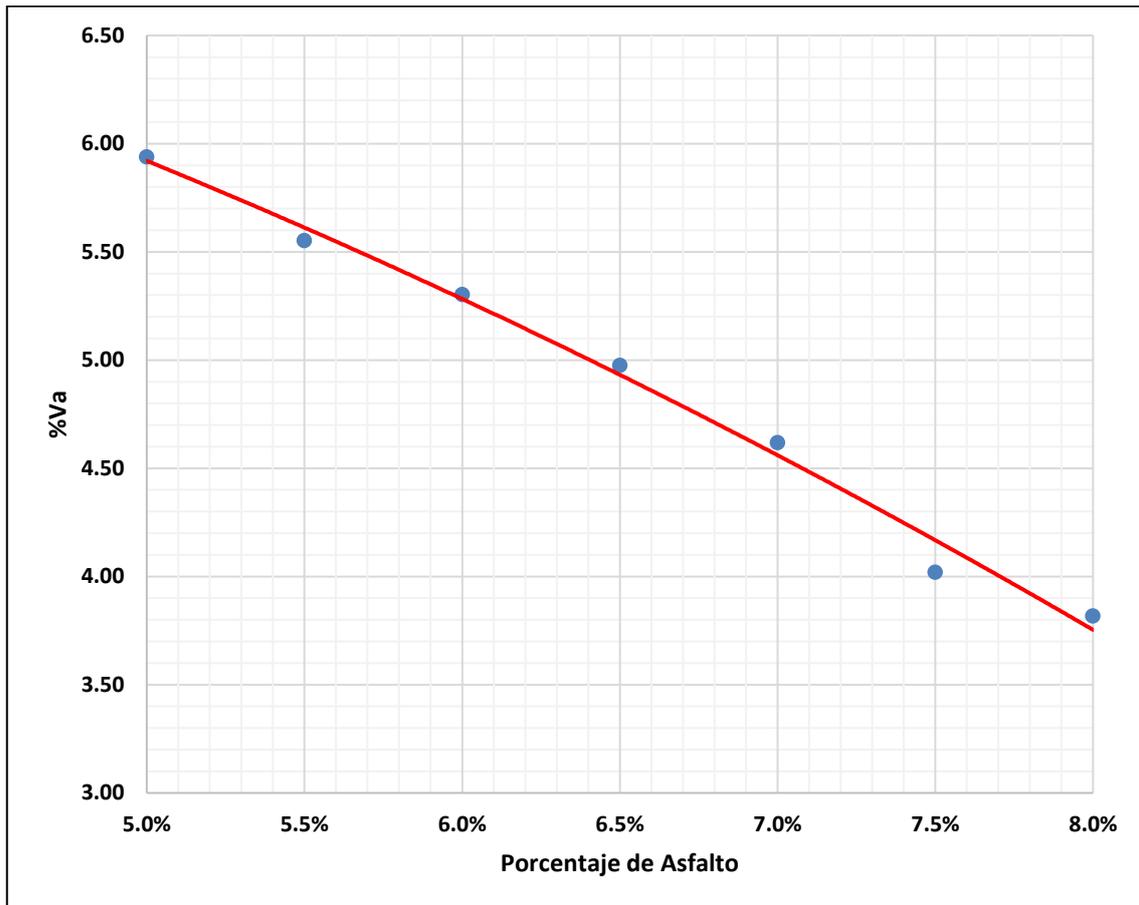
Tabla 6: Resultado obtenido mediante el ensayo Marshall.

Porcentaje de asfalto (Pb)	VMA (%)	Vacíos llenados con asfalto (VFA) (%)	Porcentaje de asfalto absorbido (Pba) (%)	Contenido de asfalto efectivo (Pbe) (%)	Flujo (0.25 mm)	Estabilidad (KN)
Pb	VMA (%)	VFA (%)	Pba (%)	Pbe (%)	Flujo	Estabilidad
5.0%	11.09	46.43	2.804	2.336	10.05	5.83
5.5%	11.09	45.78	3.602	2.096	9.69	6.03
6.0%	10.64	50.14	3.848	2.383	9.71	6.34
6.5%	10.75	53.70	4.205	2.568	10.20	7.24
7.0%	10.93	57.76	4.516	2.800	10.43	7.07
7.5%	10.63	62.18	4.967	2.906	10.32	6.81
8.0%	9.91	61.48	5.823	2.643	10.73	6.87

En la figura 13 se observa la relación de cemento asfáltico y el porcentaje de vacíos, cuando se utiliza 5.0 % de C.A. en la mezcla, se obtiene un porcentaje de vacíos de 5.94, en

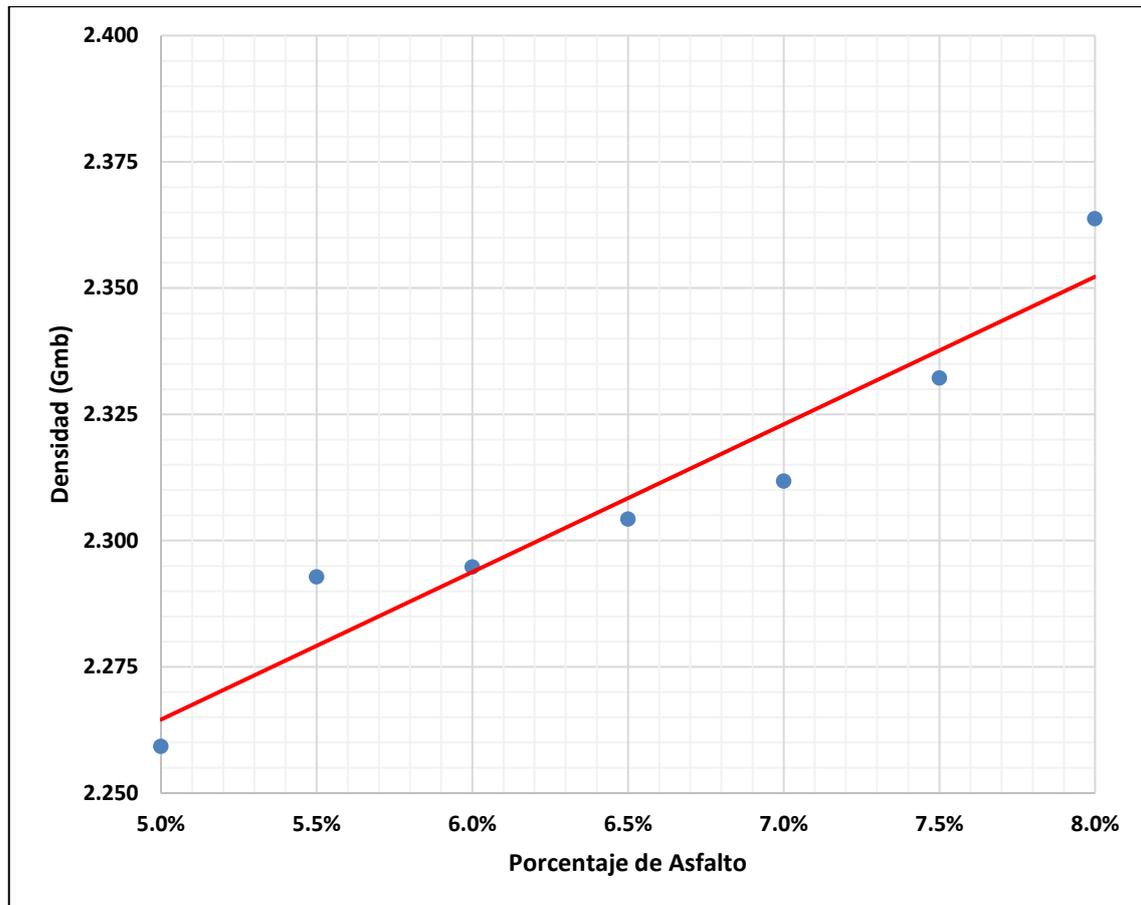
cambio si el %C.A. es de 8.0, se obtiene un %Va de 3.82. De acuerdo con la tendencia de la curva en la figura, se aprecia que a medida que se aumenta el %C.A. el %Va disminuye gradualmente.

Figura 13: Relación Porcentaje de Cemento Asfáltico vs Porcentaje de Vacíos.



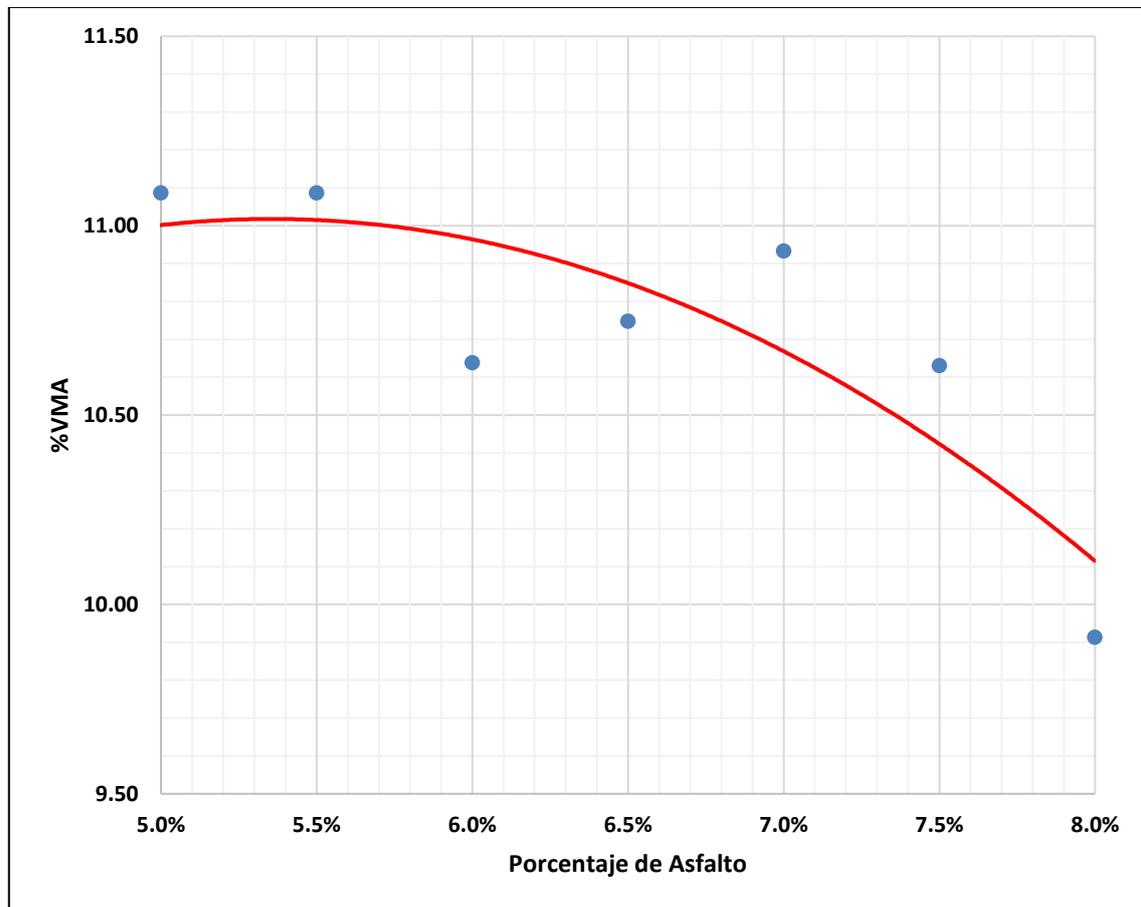
En la figura 14 se puede observar la relación entre porcentaje de cemento asfáltico y la densidad, cuando se aplica la mezcla un %C.A. de 5.0% se obtiene una densidad de 2.259 g/cm³, sin embargo, si se utiliza un %C.A. de 8.0 se obtiene una densidad de 2.364 g/cm³. Ahora bien, de acuerdo con la línea de tendencia se ve que a medida que se aumenta el %C.A., también aumenta la densidad.

Figura 14: Relación Porcentaje de Cemento Asfáltico vs Densidad.



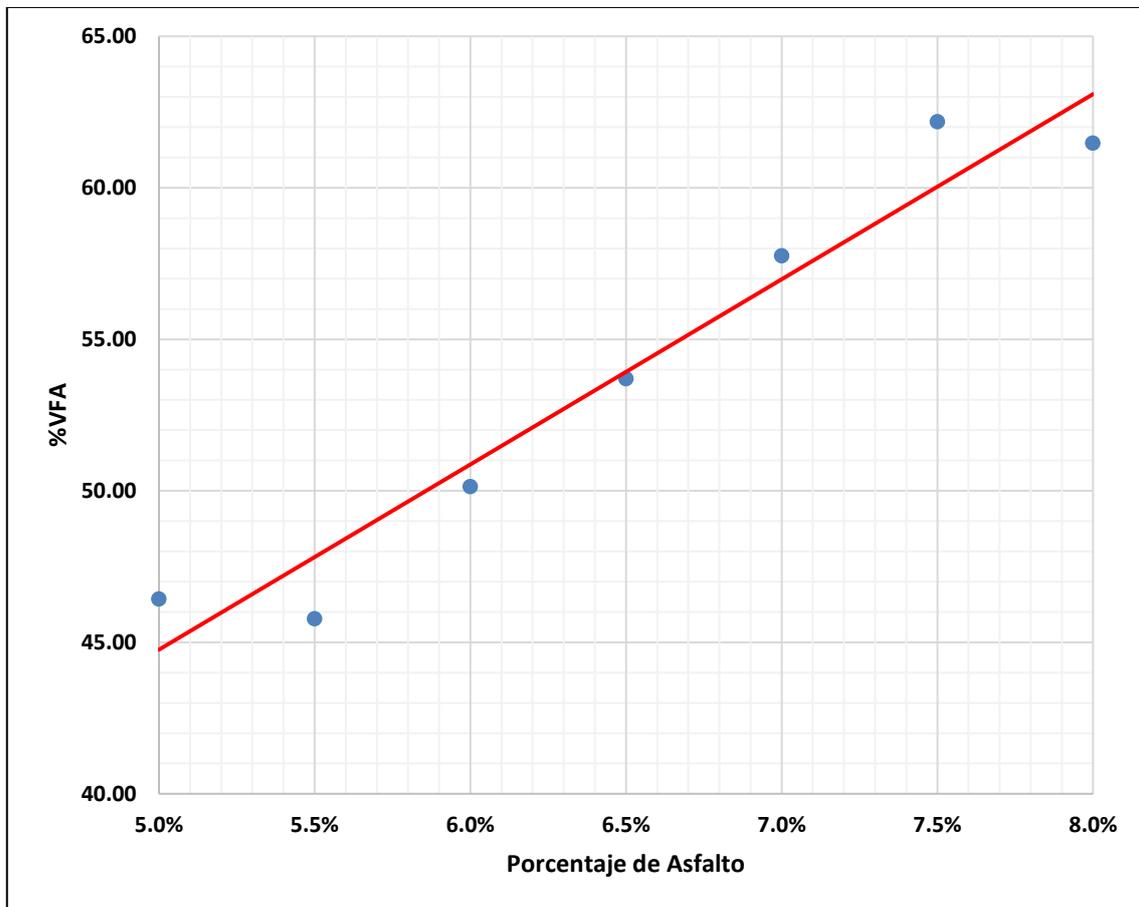
En la figura 15 se puede apreciar la relación entre el porcentaje de cemento asfáltico y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral. Cuando se usa un %C.A. de 5.0%, se obtiene un %V.A.M. de 11.09 %, y cuando se usa un %C.A. de 8.0 se tiene un %V.M.A. de 9.91%. Como se aprecia en la tendencia de la curva, a medida que se aumenta el %C.A. disminuye el porcentaje de vacíos en el agregado mineral.

Figura 15: Relación Porcentaje de Cemente Asfáltico vs Porcentaje de Vacíos en el agregado mineral.



En la figura 16 se observa la relación entre el porcentaje de cemento asfáltico y el porcentaje de vacíos llenos con asfalto. Cuando se usa un %C.A. de 5.0% se obtiene un %V.F.A. de 46.43% mientras que si se usa un %C.A. de 8.0 el valor obtenido es de 61.48%. Por el sentido de la línea de tendencia, mientras mayor sea el %C.A. usado, aumenta el porcentaje de vacíos llenos con asfalto.

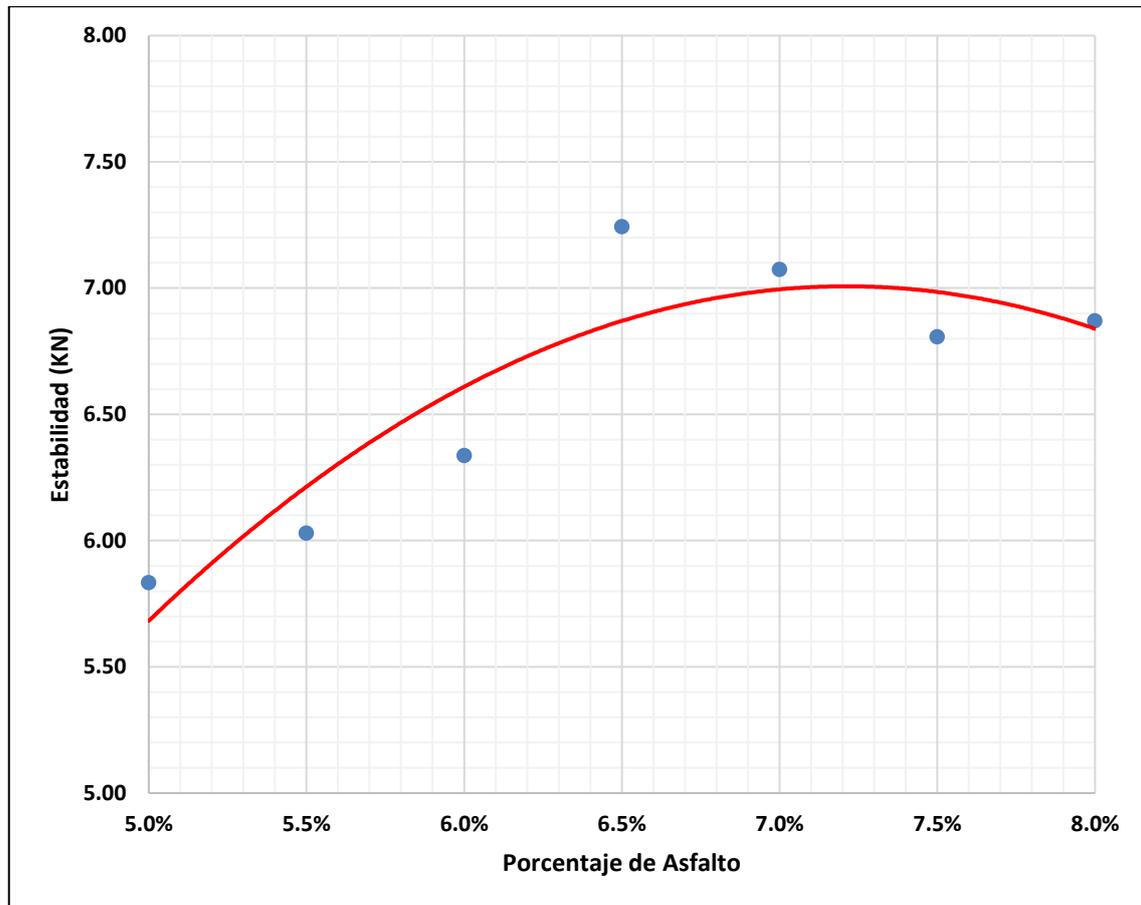
Figura 16: Relación Porcentaje de Cemento Asfáltico vs Porcentaje de Vacíos Llenos con Asfalto.



En la figura 17 se observa la relación entre el %C.A. y la Estabilidad, a un porcentaje de C.A. de 5.0%, se obtiene un valor de 5.83 KN. Sin embargo, si se usa un porcentaje de C.A. de 6.5 se obtiene una estabilidad de 7.24 KN el cual vendría a ser la máxima estabilidad obtenida, ya que por la tendencia de la curva al aumentar el %C.A., la estabilidad disminuye.

Como se puede apreciar, los resultados obtenidos para diferentes %C.A. están dentro de los parámetros de diseño de la norma EG 2013.

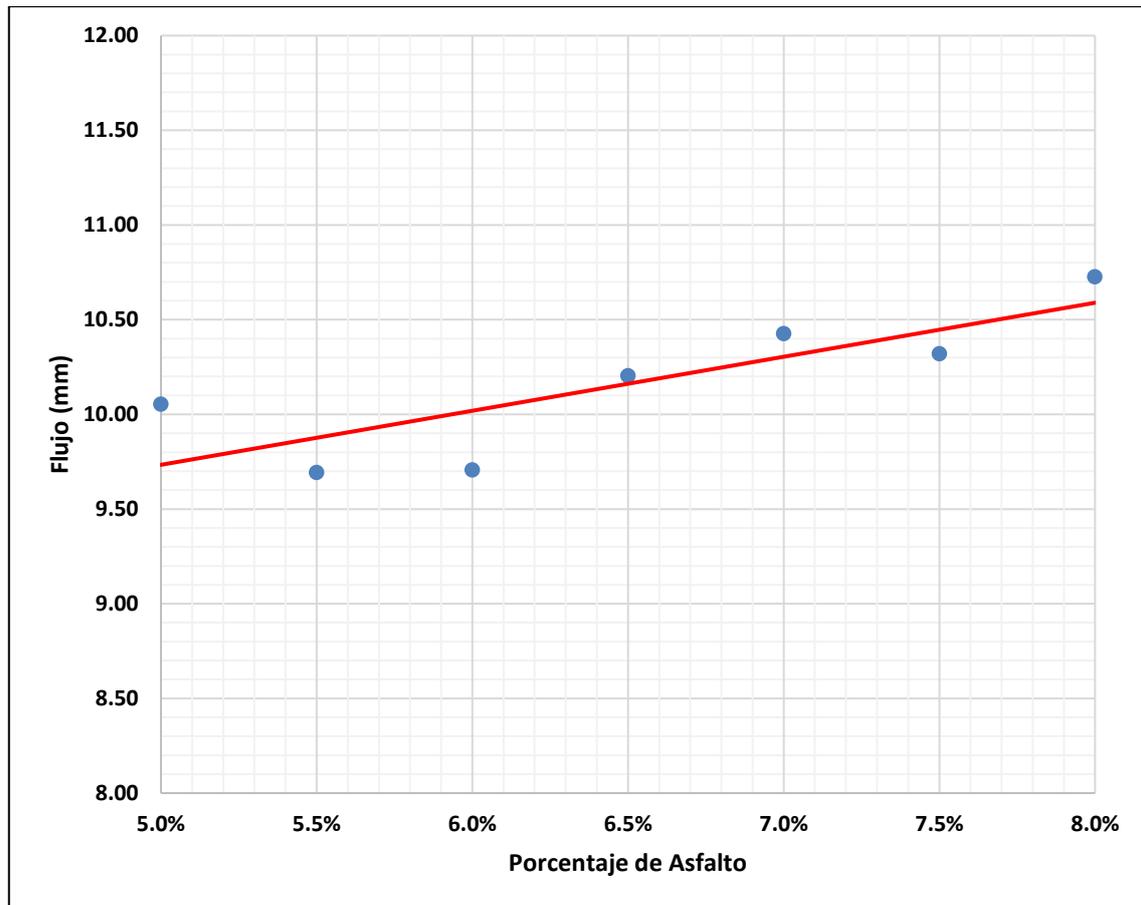
Figura 17: Relación Porcentaje de Cemento Asfáltico vs Estabilidad



En la figura 18 se observa la relación entre el porcentaje de cemento asfáltico y flujo. Inicialmente se usó un porcentaje de C.A. 5.0% y se obtuvo un flujo de 10.05mm y cuando se usó un %C.A. de 8.0% el valor del flujo es de 10.73 mm. Por el sentido de la línea de tendencia si se aumenta el porcentaje de asfalto también aumenta el flujo.

Como se puede ver, los resultados obtenidos para diferentes %C.A. están dentro de los parámetros de diseño de la norma EG 2013.

Figura 18: Relación Porcentaje de Cemento Asfáltico vs Flujo



Mezcla asfáltica modificada con partículas de caucho reciclado (ASTM D6926 / ASTM D6927).

Para esta mezcla se usó tres porcentajes de caucho (5%, 10% y 15%), y un porcentaje de 60% arena y 40% piedra de ¾” y un %C.A. de 6.0, ya que con estos porcentajes usados en la mezcla convencional se ha obtenido los mejores resultados en el ensayo Marshall

Para la mezcla modifica, los agregados (% en peso) fueron de la cantera Sulca – El Milagro, piedra ¾” 40%, arena 60%, partículas de caucho: 0.5%, 1.0% y 1.5%. La gradación fue la MAC – 1, ligante, tipo de asfalto 60/70 y el porcentaje óptimo de C.A. fue de 6.0%.

En la tabla 7 se observa los resultados obtenidos del ensayo Marshall para diferentes porcentajes de asfalto modificado con caucho, con el contenido óptimo de C.A. (6.0%) y tres porcentajes de caucho. Para un 0.50% de caucho, se obtiene 2.359 gr/cm³ de Gmb y 4.11% de Vacíos. Ahora bien, para 1.50% de caucho, se obtiene 2.374 gr/cm³ de Gmb y 3.54% de Vacíos. En cuanto a Gsb, Gse y Gmm, se obtiene 2.406 gr/cm³, 2.70 gr/cm³ y 2.461 gr/cm³ respectivamente para los tres porcentajes de caucho.

Tabla 7: Resultado obtenido mediante el ensayo Marshall.

% de Caucho	Pb	Gravedad Específica neta del agregado (Gsb)	Gravedad específica efectiva (Gse)	Gravedad teórica máxima de la mezcla (Gmm)	Densidad (Gmb)	Vacíos (Va) (%)
0.50	6.0%		2.70	2.461	2.359	4.11
1.00	6.0%	2.406	2.70	2.461	2.366	3.85
1.50	6.0%		2.70	2.461	2.374	3.54

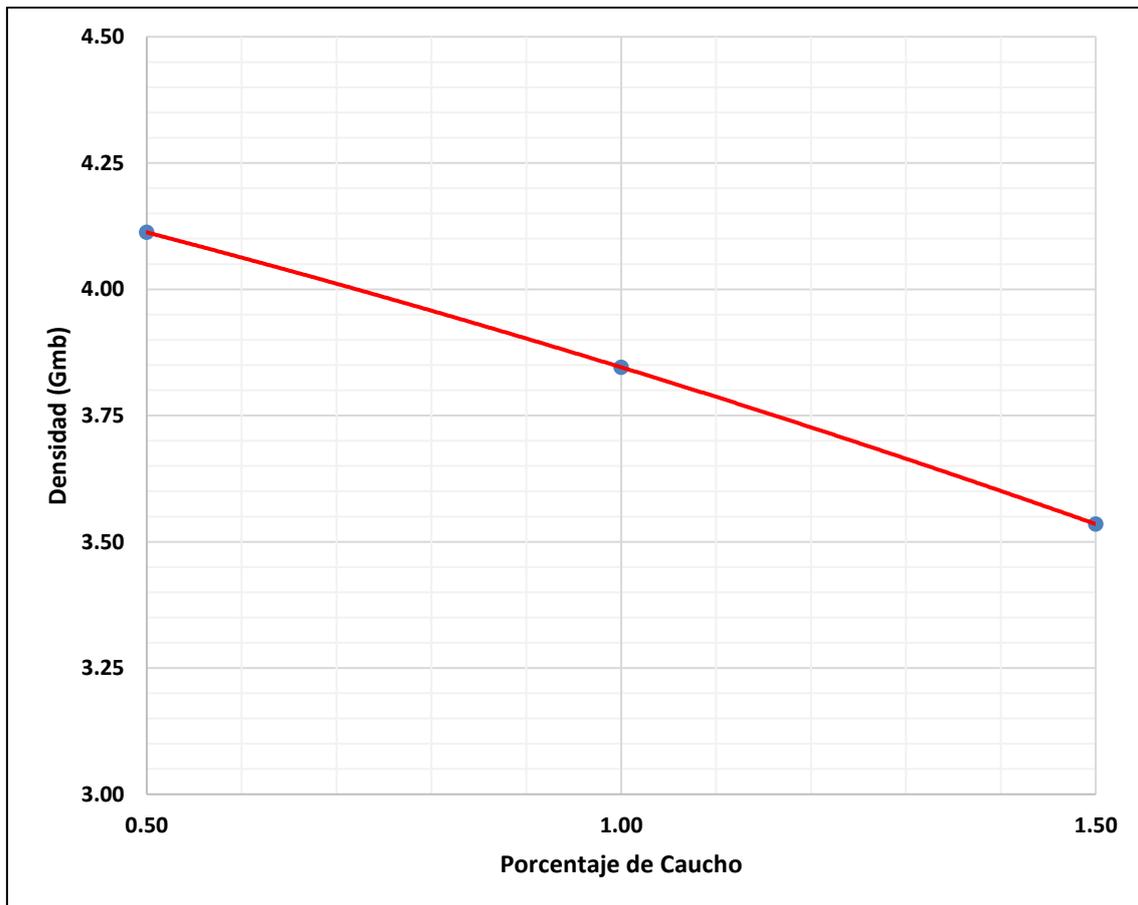
En la tabla 8 se observa los resultados obtenidos del ensayo Marshall con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico (6.0%) para diferentes porcentajes de caucho. Para el 0.50% de caucho, se tiene 7.81% de V.M.A., 47.33% para V.F.A., 4.675%, Flujo 9.29 mm y estabilidad 9.84 KN. Si se utiliza 1.50% de caucho, se obtiene 7.25% V.A.M., 51.26% V.F.A., flujo 10.14 mm y estabilidad 9.23 KN, en cuanto a Pba y Pbe se tiene 4.675 y 1.606 respectivamente para los tres porcentajes de caucho.

Tabla 8: Resultado obtenido mediante el ensayo Marshall.

% de Caucho	Pb	VMA (%)	Vacíos llenados con asfalto (VFA) (%)	Porcentaje de asfalto absorbido (Pba) (%)	Contenido de asfalto efectivo (Pbe) (%)	Flujo (0.25 mm)	Estabilidad (KN)
0.50	6.0%	7.81	47.33	4.675	1.606	8.26	9.84
1.00	6.0%	7.55	49.07	4.675	1.606	8.72	10.87
1.50	6.0%	7.25	51.26	4.675	1.606	9.82	9.23

En la figura 19 se observa la relación entre el porcentaje de caucho reciclado y el porcentaje de vacíos, como se aprecia en la figura, a un porcentaje de 0.5% de caucho, el %Va es de 4.5%, mientras que cuando se usa 1.5% de caucho, el %Va es de 3.54%. Siguiendo la tendencia de la curva, a más porcentaje de caucho disminuye también el % Va. Como se puede ver para los tres diferentes porcentajes de caucho añadidos cumplen con lo especificada en el Manual de Especificaciones Técnicas para Construcción EG-2013 del MTC.

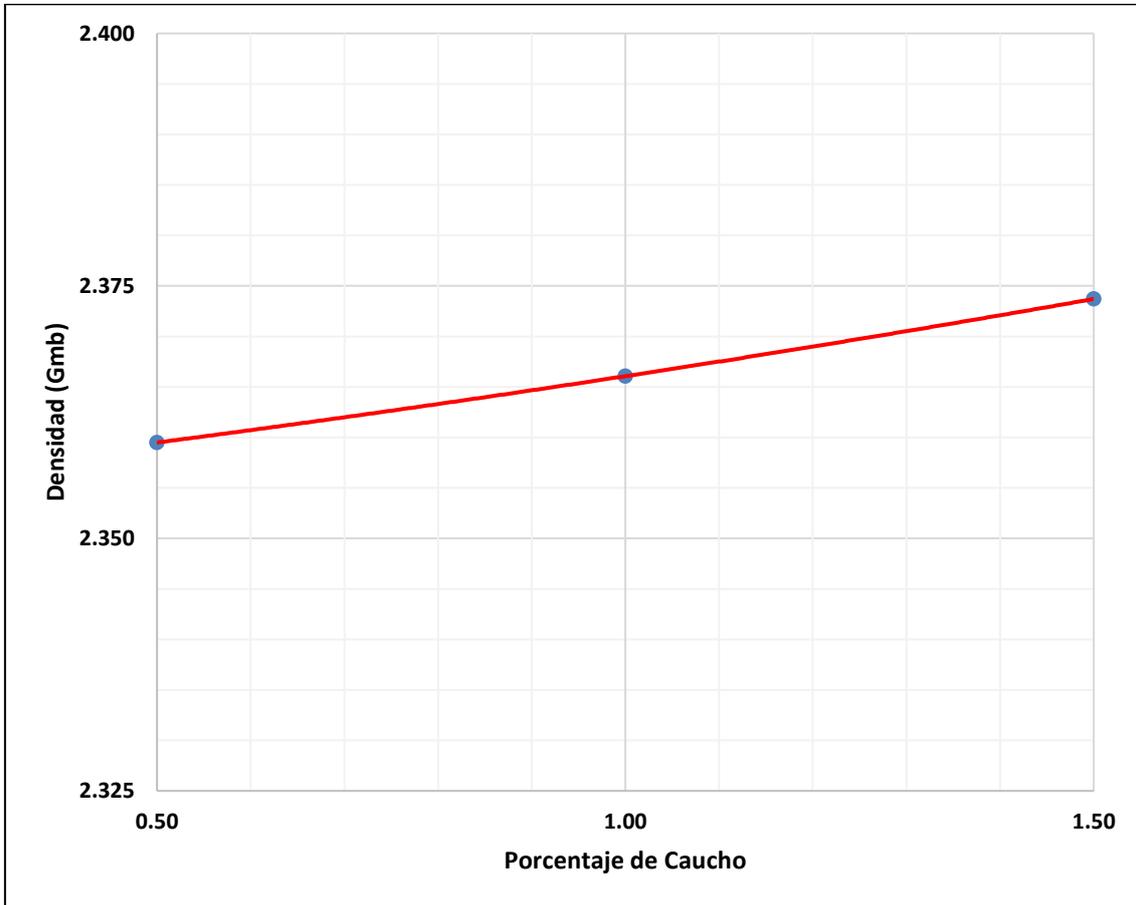
Figura 19. Relación Porcentaje de Caucho vs Porcentaje de Vacíos



En la figura 20 se observa la relación entre el porcentaje de caucho reciclado y la densidad, cuando el %caucho es de 0.5%, se tiene una densidad de 2.359 g/cm³, y si se usa un

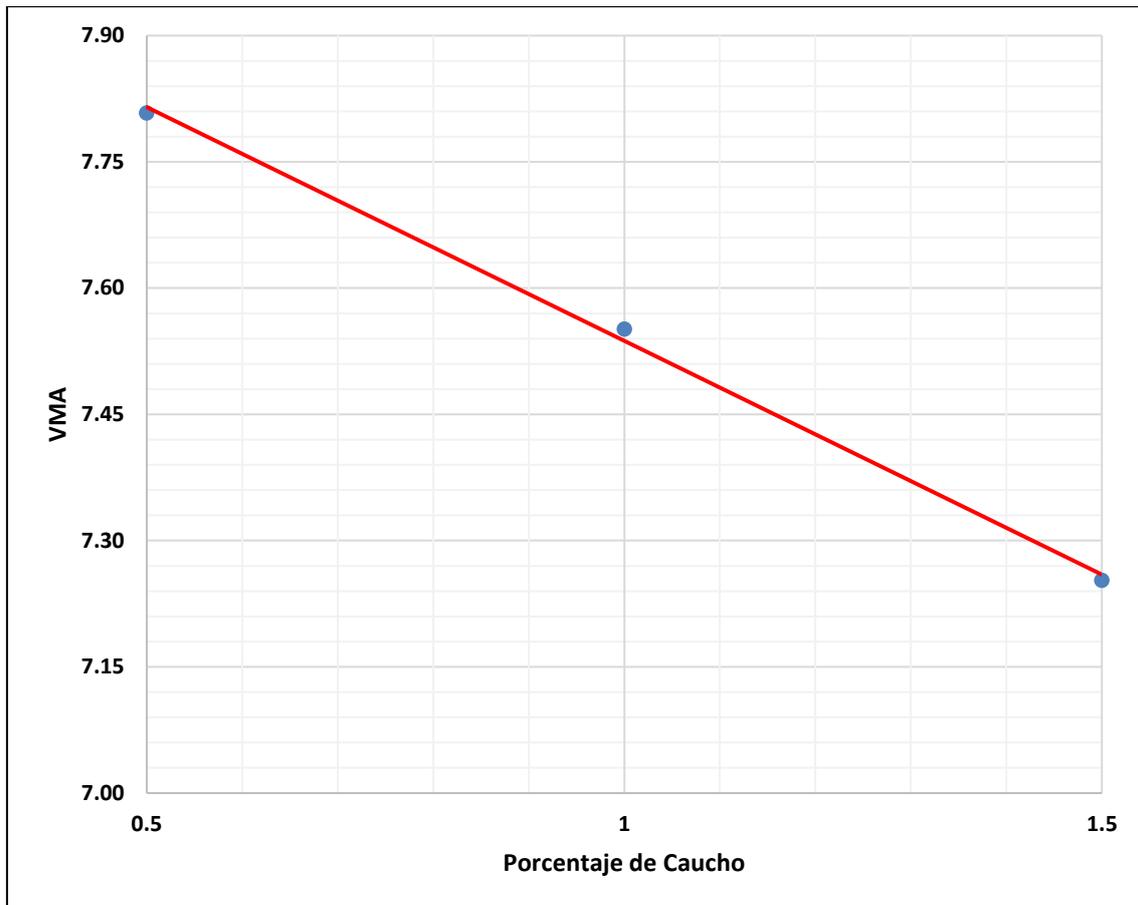
porcentaje de caucho del 1.5%, se obtiene una densidad de 2.374 g/cm³. Como se puede apreciar, a más porcentaje de caucho, se obtiene una densidad mayor.

Figura 20: Relación Porcentaje de caucho vs Densidad



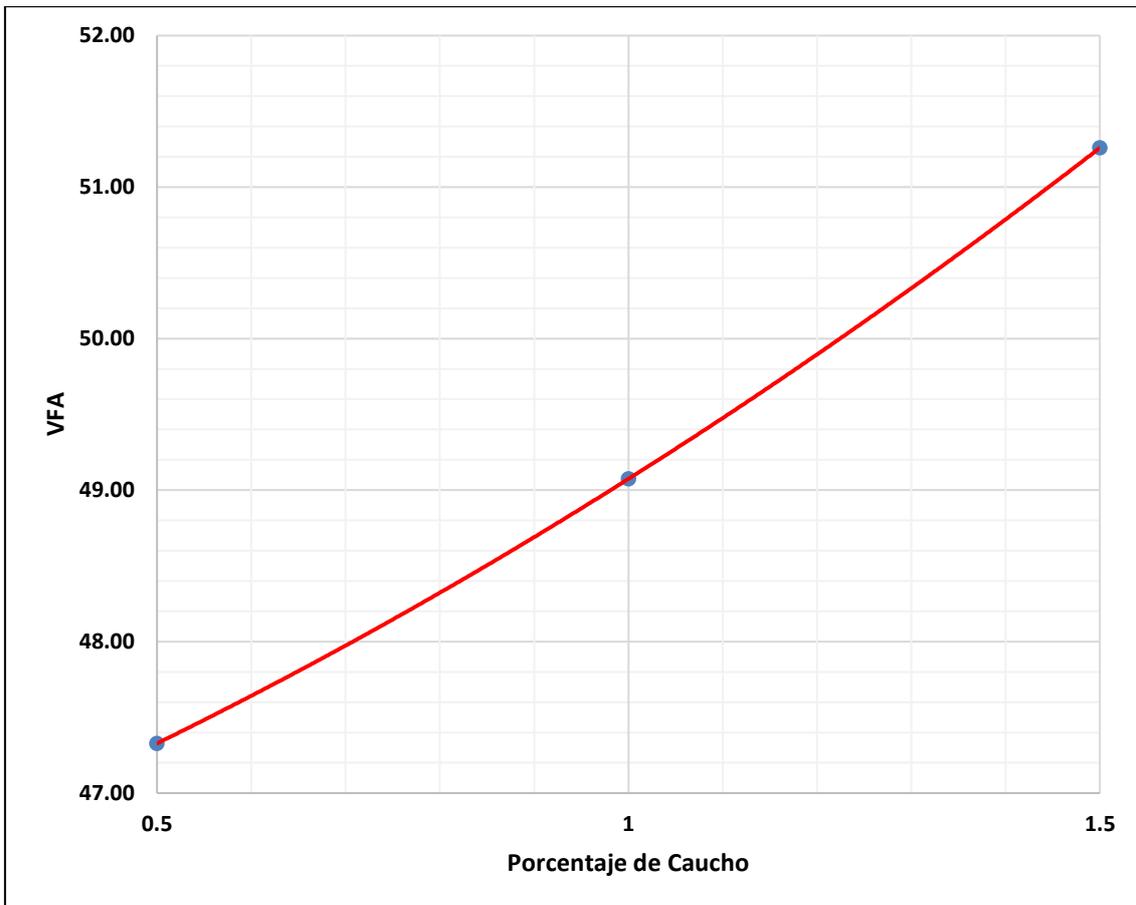
En la figura 21 se puede apreciar la relación entre el porcentaje de caucho y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral. Cuando se adiciona un %caucho del 0.5% se obtiene un %V.M.A. de 7.81% y si se adiciona un porcentaje mayor de caucho (1.5%) el porcentaje de V.A.M. disminuye ligeramente a 7.25%. Por la tendencia de la curva se puede observar que a medida que aumentamos el porcentaje de caucho, disminuye el porcentaje de vacíos en el agregado mineral.

Figura 21: Relación Porcentaje de Caucho vs Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral



En la figura 22 se puede ver la relación entre el porcentaje de caucho y el porcentaje de vacíos llenados con asfalto. Cuando se adiciona 0.5 de caucho se obtiene un % V.F.A. de 47.33%, pero si se adiciona un porcentaje mayor de caucho de 1.5% se obtiene un % V.F.A. de 51.26%. ahora bien, por la tendencia de la curva se afirma que a medida que aumenta el porcentaje de caucho, también aumentan los vacíos llenados con asfalto.

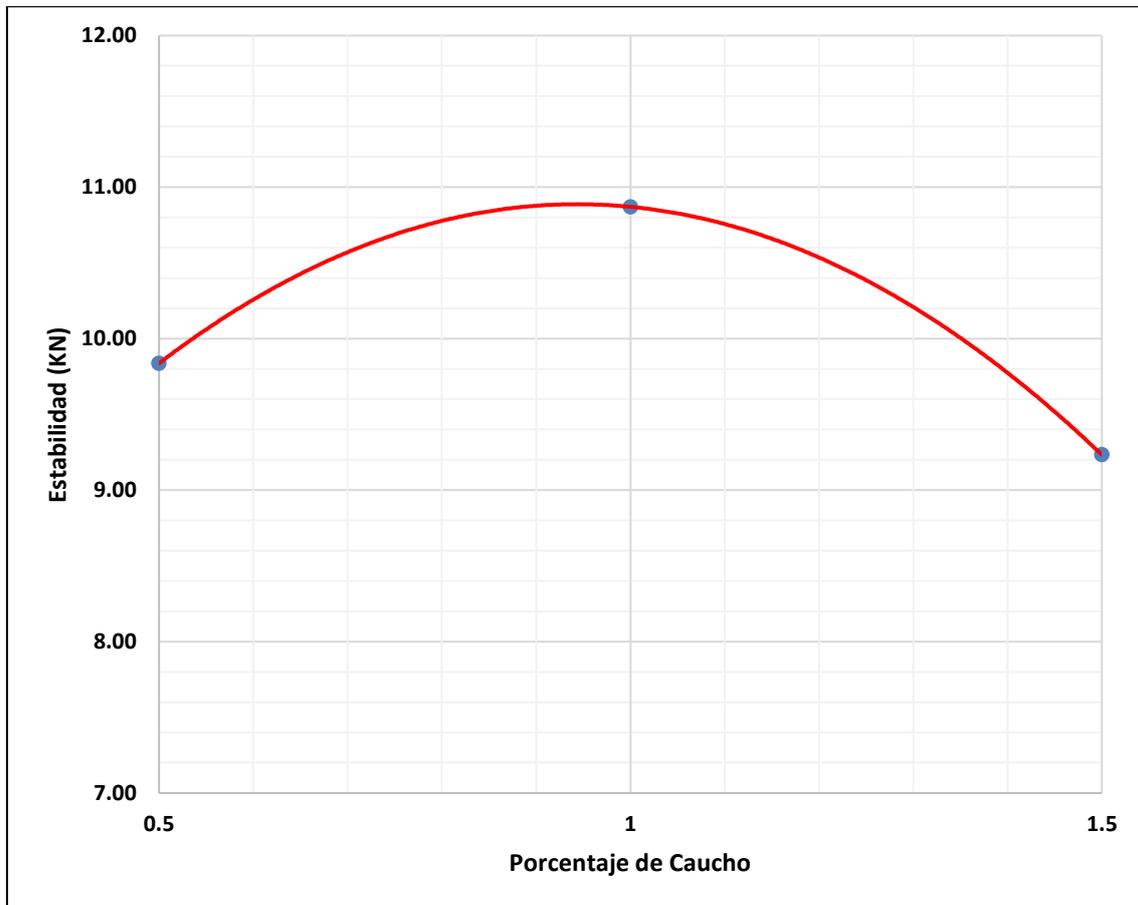
Figura 22: Relación Porcentaje de Caucho vs Porcentaje de vacíos llenados con asfalto



En la figura 23 se puede observar el porcentaje de caucho y estabilidad. Cuando se usa un porcentaje caucho del 0.5% se obtiene una estabilidad de 9.84 KN, y cuando se usa un 1.0% de caucho se obtiene una estabilidad de 10.87 KN. Por la tendencia de la curva a más porcentaje de caucho la estabilidad disminuye.

Se puede ver que los resultados cumplen con los parámetros especificados por el Manual de Especificaciones Técnicas para Construcción EG-2013 del MTC.

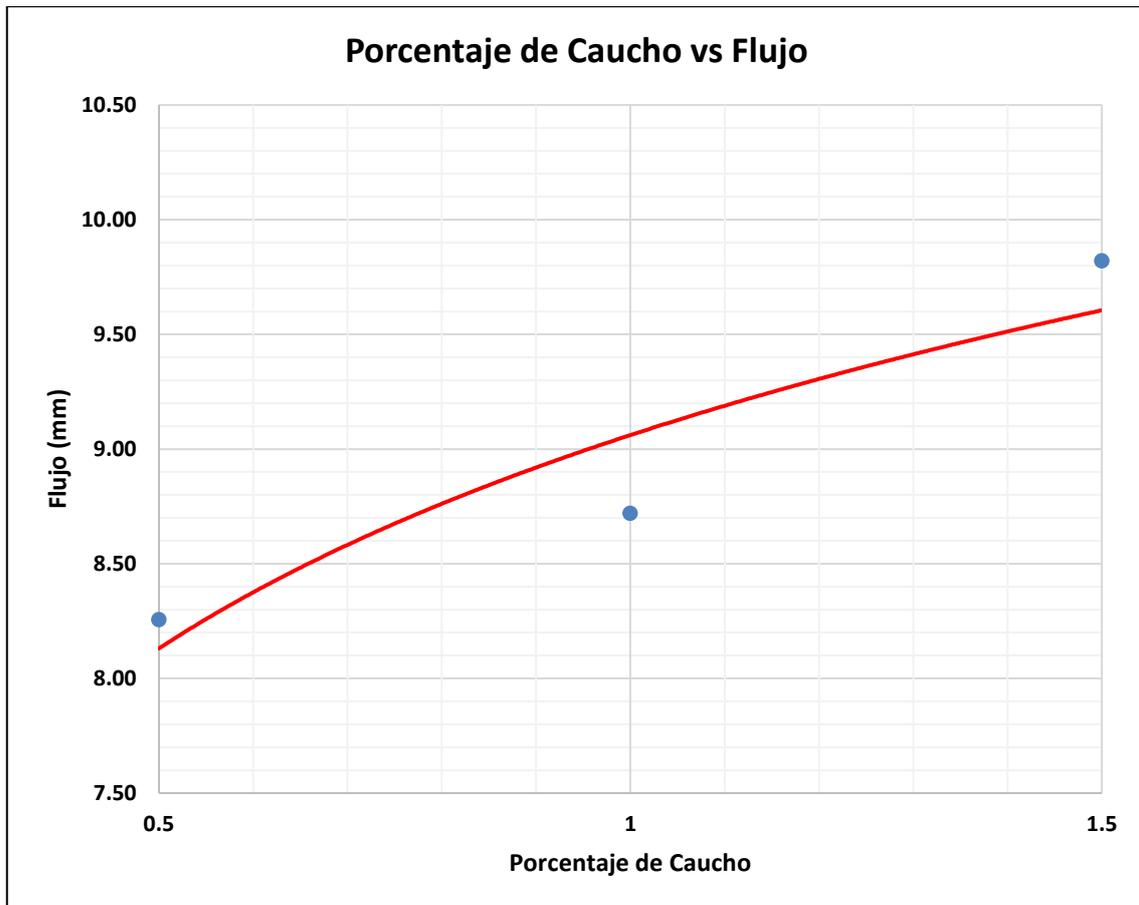
Figura 23: Relación Porcentaje de Caucho vs Estabilidad



En la figura 24 se puede apreciar la relación entre el porcentaje de caucho y flujo. Los resultados obtenidos para un 0.5% de caucho es de 8.26 mm y para el 1.5% de caucho es de 9.82 mm. La tendencia de la curva nos indica que a medida que se aumenta el porcentaje de caucho a la mezcla mayor será el flujo.

Estos resultados obtenidos se encuentran dentro del rango de diseño especificado en el Manual de Especificaciones Técnicas para Construcción EG-2013 del MTC.

Figura 24: Relación entre el Porcentaje de Caucho vs Flujo



3.3 Comparación de resultados para mezclas asfálticas convencionales y modificadas con caucho

En la tabla 9 se muestra el resumen los datos obtenidos por el ensayo Marshall, están representados a través de este cuadro comparativo para los dos tipos de mezclas asfálticas. No obstante, cabe señalar que para la muestra 1 y 2 se usaron diferentes porcentajes de agregado, el primero, de 40% piedra, 60 % arena y el segundo de 60% piedra, 40% arena, respectivamente; con diferentes porcentajes de cemento asfáltico (5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0), siendo el primer porcentaje de agregados y el 6.0% de cemento asfáltico, los porcentajes óptimos para la mezcla, ya que se obtuvo los mejores resultados de estabilidad y flujo.

Tabla 9: Cuadro resumen del ensayo Marshall para los tres tipos de mezclas

Características	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04	Muestra 05
N° de golpes	50	50	50	50	50
Porcentaje de agregados %	40%	60%	40%	40%	40%
	Piedra	Piedra	Piedra	Piedra	Piedra
	60%	40%	60%	60%	60%
	Arena	Arena	Arena	Arena	Arena
Contenido de caucho %	N.P.	N.P.	0.5%	1.0%	1.5%
Contenido óptimo de Cemento asfalto %	6.0%	6.0%	6.0%	6.0%	6.0%
Vacíos %	3.81	5.3	4.11	3.85	3.54
Vacíos llenos con asfalto %	65.95	50.14	47.33	49.07	51.26
V.M.A. %	11.20	10.64	7.81	7.55	7.25
Estabilidad, (KN)	9.88	6.34	9.84	10.87	9.23
Flujo (0.25mm)	8.81	9.71	9.28	8.72	10.14
Absorción de asfalto %	2.84	3.85	4.67	4.67	4.67
Temperatura de mezcla	140-145	140-145	140-145	140-145	140-145

En la tabla 10 se aprecia la comparación de la mezcla asfáltica convencional y la modificada con caucho ensayadas con los porcentajes óptimos de agregados y cemento asfáltico, en cuanto a la convencional se obtuvo una estabilidad de 9.88 KN y la modificada 10.87 KN con lo cual se aprecia una mejora del 10%. En cuanto al porcentaje de vacíos y flujo para la mezcla modificada se tiene 3.85% y 8.72mm, los cuales se encuentran dentro del rango permitido en comparación con la mezcla convencional.

Tabla 10: Cuadro comparativo entre mezcla convencional y mezcla con caucho al 1.0%

Características	Muestra convencional	Muestra modificada
N° de golpes	50	50
Porcentaje de agregados %	40% Piedra	40% Piedra
	60% Arena	60% Arena
Contenido de caucho %	N.P.	1.0%
Contenido óptimo de Cemento asfáltico %	6.0%	6.0%
Vacíos %	3.81	3.85

Vacíos llenos con asfalto %	65.95	49.07
V.M.A. %	11.20	7.55
Estabilidad, (KN)	9.88	10.87
Flujo (0.25mm)	8.81	8.72
Absorción de asfalto %	2.84	4.67
Temperatura de mezcla	140-145	140-145

Tabla 11: Requisitos para 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 (1) (MTC E 505)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
5. Vacíos en el agregado mineral	Ver tabla 423 - 10		
Inmersión - Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	2,1
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo - Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/Flujo (kg/cm) (3)	1.700 – 4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 Mín.		

Fuente: Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción EG – 2013.

3.4 Análisis de costos ejecución-mantenimiento de mezclas convencionales y mezclas modificadas con caucho

Se realizó un análisis comparativo de precios unitarios de las dos mezclas, los resultados se muestran a continuación, en la cual se observa que la mezcla asfáltica modificada con caucho es, inicialmente, el 8% más costosa que una mezcla asfáltica convencional. Sin embargo, los costos se reducen en el periodo de mantenimiento, siendo menor para la mezcla asfáltica modificada con caucho con respecto a la mezcla convencional.

3.4.1 Análisis de costo unitario de carpeta asfáltica (mezcla convencional)

De acuerdo con el análisis de precios unitarios, el presupuesto requerido para la ejecución de un m² de carpeta asfáltica convencional es de 33.98 soles por m².

Partida		CARPETA ASFÁLTICA 2"					
Rendimiento	m2/DIA	1,500.0000	EQ. 1,500.0000	Costo unitario directo por: m2		33.98	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0053	27.82	0.15	
0101010003	OPERARIO	hh	4.0000	0.0213	24.19	0.52	
0101010004	OFICIAL	hh	2.0000	0.0107	19.11	0.20	
0101010005	PEON	hh	7.0000	0.0373	17.25	0.64	
						1.51	
Materiales							
02010500010002	ASFALTO PEN 60/70	gal		1.7500	10.76	18.83	
02070100010003	PIEDRA CHANCADA 3/4"	m3		0.0550	55.00	3.03	
02070200010002	ARENA GRUESA	m3		0.0250	35.00	0.88	
						22.74	
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	1.51	0.08	
0301100001	COMPACTADORA VIBRATORIA TIPO PLANCHA 7 HP	hm	3.0000	0.0160	100.00	1.60	
0301100004	RODILLO NEUMATICO	hm	1.0000	0.0053	180.00	0.95	
0301100005	RODILLO TANDEM	hm	1.0000	0.0053	170.00	0.90	
0301160001	CARGADOR FRONTAL	hm	1.0000	0.0053	210.00	1.11	
03012200040001	CAMION VOLQUETE DE 15 m3	hm	4.0000	0.0213	160.00	3.41	
0301390003	PLANTA PARA ASFALTO	hm	1.5000	0.0080	210.00	1.68	
						9.73	

3.4.2 Análisis de costo unitario de carpeta asfáltica (modificada con caucho)

De acuerdo con el análisis de precios unitarios, el presupuesto requerido para la ejecución de un m² de carpeta asfáltica modificada con caucho es de 36.74 soles por m².

Partida		CARPETA ASFÁLTICA 2"					
Rendimiento	m2/DIA	1,500.0000	1,500.0000	Costo unitario directo por: m2		36.74	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0053	27.82	0.15	
0101010003	OPERARIO	hh	4.0000	0.0213	24.19	0.52	
0101010004	OFICIAL	hh	2.0000	0.0107	19.11	0.20	
0101010005	PEON	hh	7.0000	0.0373	17.25	0.64	
						1.51	
Materiales							
02010500010002	ASFALTO PEN 85-100	gal		1.7500	10.76	18.83	

02070100010003	PIEDRA CHANCADA 3/4"	m3		0.0550	55.00	3.03
02070200010002	ARENA GRUESA	m3		0.0250	35.00	0.88
0210020003	POLVO CAUCHO	kg		1.0600	2.60	2.76
						25.50
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	1.51	0.08
0301100001	COMPACTADORA VIBRATORIA TIPO PLANCHA 7 HP	hm	3.0000	0.0160	100.00	1.60
0301100004	RODILLO NEUMATICO	hm	1.0000	0.0053	180.00	0.95
0301100005	RODILLO TANDEM	hm	1.0000	0.0053	170.00	0.90
0301160001	CARGADOR FRONTAL	hm	1.0000	0.0053	210.00	1.11
03012200040001	CAMION VOLQUETE DE 15 m3	hm	4.0000	0.0213	160.00	3.41
0301390003	PLANTA PARA ASFALTO	hm	1.5000	0.0080	210.00	1.68
						9.73

3.4.3 Costo para ejecutar un tramo de carpeta asfáltica 1 km con ancho 3.40 m de calzada

Para el presente estudio se analizaron los costos para una longitud de 1000 m y un ancho de calzada de 3.40 m. El precio para carpeta asfáltica convencional es de 115532 soles por km. En cuanto al precio para la carpeta asfáltica modificada con caucho es de 124916 soles por km.

Figura 25: Costo de mantenimiento de carreteras peruanas

COSTO DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS PERUANAS					
VAS ASFALTADAS			VAS AFIRMADAS		
12,000 Km			18,500 Km		
COSTA	6,500	Km	1,000	Km	
SIERRA	4,500	Km	12,000	Km	
SELVA	1,000	Km	5,500	Km	
	MANT. PERIODICO	MANT. RUTINARIO	REHABILITACION	RECONSTRUCCION	MANTENIMIENTO
US\$/Km	(Cada 4 años)	(Cada año)	(1° año)	(1° año)	(1° año)
COSTA	14,000	2,700	140,000	300,000	3,200
SIERRA	18,000	3,400	180,000	700,000	4,000
SELVA	25,000	4,200	250,000	800,000	5,500
US\$					
COSTA	91,000,000	17,550,000	910,000,000	1,950,000,000	3,200,000
SIERRA	81,000,000	15,300,000	810,000,000	3,150,000,000	48,000,000
SELVA	25,000,000	4,200,000	250,000,000	800,000,000	30,250,000
TOTAL	197,000,000	37,050,000	1,970,000,000	5,900,000,000	81,450,000

Fuente: Asociación peruana de caminos.

3.4.4 Costo de mantenimiento periódico de carpetas asfálticas

El asfalto modificado es un 24% más caro que las mezclas asfálticas convencionales. Sin embargo, los beneficios dependen de la vida útil del pavimento, que depende de un conjunto de costos, tales como construcción, mantenimiento y reconstrucción, y los compuestos a base de caucho de neumático, debido a su alto módulo dinámico, es evidente que tiene una vida útil más larga. (Camacho y Vargas, 2017)

Para el mantenimiento con asfalto convencional cada 4 años el costo fue de 14000 por año. El costo de ejecución y mantenimiento para 10 años es $115532 + 14000 * 10 = S/. 255532$

Sin embargo, para el asfalto modificado con caucho cada 7 años el costo es S/. 8000 por año. El costo de ejecución y mantenimiento para 10 años es $124916 + 8000 * 10 = S/. 204916$.

Para ejecutar un tramo de carpeta asfáltica de 1 km y 3.40 m de ancho de carril y considerando mantenimiento un periodo de 10 años, se reduce el costo en un 24.7% con respecto a la carpeta asfáltica convencional.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Como objetivo específico se consideró determinar el óptimo contenido de cemento asfáltico mediante el ensayo Marshall, en base a ello se utilizó dicho método, desarrollado por el Ing. Bruce Marshall (1930's). Este método utiliza una estabilidad y porcentaje de vacíos como pruebas fundamentalmente.

En los resultados encontrados en la siguiente investigación se observó que el óptimo contenido de asfalto, utilizando cemento asfáltico PEN 60/70 e incorporando agregados 60% arena y 40% piedra, es de 6.0%.

Los resultados de la presente investigación coinciden con lo obtenido por (Castillo y Chávarri, 2020), quién determinó que el contenido óptimo de cemento asfáltico, agregando 1.5% de caucho, fue de 6.2%. Por lo tanto, se tiene una ligera diferencia de 0.2% de cemento asfáltico con respecto a esta investigación.

Los antecedentes y sus coincidencias con la presente investigación evidencian que utilizando el 6.0% o 6.2% de cemento asfáltico mejora las propiedades de la mezcla asfáltica.

Como objetivo específico se consideró obtener el porcentaje necesario del caucho reciclado en base al óptimo contenido de cemento asfáltico, en base a ello se diseñó la mezcla utilizando el método Marshall.

En los resultados obtenidos en la presente investigación se observó que el óptimo contenido de caucho, utilizando cemento asfáltico PEN 60/70 e incorporando agregados 60% arena y 40% piedra, es de 1.0%, con el cual se obtuvo una estabilidad de 10.87 kN, flujo de 8.72 mm y % Vacíos de 3.85% respectivamente.

Los resultados de la presente investigación coinciden con lo obtenido por (Cervera, 2016), quién determinó que el óptimo contenido de caucho es de 1.0%, ya que obtuvo

mejores resultados y cumple con las especificaciones técnicas del Manual de Carreteras EG-2013. Asimismo, también confirma lo investigado por (Soto, 2018), el porcentaje óptimo de caucho es del 1%, ya que mejoró los parámetros Marshall de la mezcla asfáltica.

Los antecedentes y sus coincidencias con la presente investigación evidencian que incorporando el 1.0% de caucho, mejora las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente, incrementa su estabilidad, y en cuanto al flujo y porcentaje de vacíos se mantiene dentro del rango de las especificaciones técnicas del Manual de Carreteras EG – 2013.

Como objetivo específico se consideró comparar las propiedades físicas y mecánicas en una mezcla asfáltica en caliente con adición y sin adición de caucho reciclado, en base a ello se realizó ensayos por el método Marshall para determinar sus propiedades mecánicas de una mezcla convencional y una modificada con caucho.

En los resultados encontrados en la siguiente investigación se observó que la mezcla modificada con caucho presenta una estabilidad de 10.87 kN, flujo de 8.72 mm y %vacíos de 3.85%, en cuanto a la mezcla convencional presenta una estabilidad de 9.88 kN, flujo de 8.81 mm y %vacíos de 3.81 % respectivamente.

Los resultados de la presente investigación coinciden con lo obtenido por (Cervera, 2016), determinó que la incorporación de partículas de caucho influye de manera positiva en mezcla asfáltica, incrementando su estabilidad y mejorando el flujo en un 2.6% y 2.3% respectivamente en relación con mezcla convencional.

Los antecedentes y su coincidencia con la presente investigación evidencian que la mezcla modificada con caucho presenta propiedades mecánicas superiores a la mezcla convencional.

Como objetivo específico se comparó los costos de una mezcla asfáltica en caliente y una mezcla asfáltica en caliente con adición de caucho reciclado, en base a ello se realizó el análisis de costos unitarios utilizando el programa S10.

En los resultados encontrados se observó que el costo por m² de carpeta asfáltica modificada con caucho de 2” es de 36.74 soles, mientras que para la carpeta asfáltica convencional es de 33.98 soles.

Los resultados coinciden con lo obtenido por (González, 2015), quien concluyo que la carpeta asfáltica con caucho reciclado inicialmente tiene un costo mayor, sin embargo, por sus características intrínsecas, las cuales mejoran el comportamiento de las mezclas asfálticas, reduce el coste en la etapa de mantenimiento.

Además, pudimos encontrar limitación que impidieron ampliar más la investigación, una de ellas fue encontrar un laboratorio que sea netamente de suelos que se relacione a nuestra investigación, en Trujillo es poco común encontrarlas, es por ello que se optó por desarrollar los ensayos en la Universidad Nacional de Trujillo ya que cuenta con equipos especiales para suelos, esto limitó resultados más precisos. La segunda limitación fue encontrar un material de disposición inmediata que se pueda añadir a la mezcla asfáltica con caucho ya que se analizó sus propiedades físicas y mecánicas, ya que con caucho era suficiente para nosotros. La última limitación fue poder encontrar el caucho en diferentes medidas, pues también queríamos analizar el comportamiento de un cemento asfáltico añadiendo partículas de caucho, pero con distintas medidas, es por tal motivo que solo se realizó los ensayos con una solo medida de partículas de caucho.

Finalmente, para realizar el tema de investigación con Marshall implica tener equipos modernos para obtener resultados más precisos en los ensayos, ya que la finalidad de los pavimentos flexibles es brindar seguridad y confort a los usuarios de la vía.

4.2 Conclusiones

- Se determinó la influencia del caucho reciclado en las propiedades físicas y mecánicas en una mezcla asfáltica en caliente, de una mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica modificada con caucho, mediante el método Marshall, de las cuales se determinó que el caucho si influye en las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica, obteniendo una estabilidad de 10.87 KN para la MAC modificada con caucho al 1.0%, mientras que la MAC convencional obtuvo una estabilidad de 9.88 KN. En cuanto al flujo y porcentaje de vacíos, se encuentra dentro de los rangos permitidos por el Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción EG – 2013.
- Se determinó el porcentaje óptimo de cemento asfáltico para el diseño de mezclas asfálticas para diferentes porcentajes de agregados, siendo 6.0% el porcentaje óptimo con un porcentaje de agregados de 60% arena y 40% piedra, ya que mejoró 43% la relación estabilidad vs flujo en las mezclas tradicionales.
- Se determinó porcentaje óptimo de caucho para el diseño de mezclas asfálticas de las cuales se observó que para un %C.A. de 6.0%, el porcentaje óptimo de caucho es de 1%, logrando mejorar 10% la estabilidad, y 1.15% en la relación estabilidad vs flujo en la mezcla asfáltica modificada con respecto a la tradicional.
- Se comparó las propiedades físicas y mecánicas en una mezcla asfáltica en caliente con adición y sin adición de caucho reciclado y se encontró que la mezcla tradicional tiene una estabilidad 9.88 KN a un %C.A. de 6.0%, en cuanto a la mezcla modificada con caucho tiene una estabilidad 9.87 KN, mejorando su comportamiento en 10.04%. El flujo para la mezcla tradicional fue de 8.81 mm y la mezcla modificada 8.72 mm, la cual se mantiene dentro de la normativa. En cuanto a al porcentaje de vacíos 3.81%

para la mezcla tradicional y 3.85% para mezcla modificada, la cual también se mantiene dentro del rango de 3% a 5% de la normativa del MTC E 505.

- Se comparó los costos y se concluyó que para ejecutar un tramo de carpeta asfáltica de 1 km con 3.40 m de ancho de carril, y considerando mantenimiento un periodo de 10 años, se reduce el costo en un 24.7% de la carpeta asfáltica modifica con caucho con respecto a la carpeta asfáltica convencional.

4.3 Recomendaciones

- Se recomienda hacer un seguimiento de las mezclas asfálticas tomando muestras con el fin de analizar el comportamiento en laboratorio, esto con el propósito que cumplan con los parámetros antes y después de ejecutar la obra.
- Es importante incorporar a la mezcla agregados de buena calidad libres de residuos orgánicos con el fin de obtener mejores resultados mecánicos y físicos en una mezcla asfáltica.
- Se recomienda elaborar mezclas asfálticas con agregados angulares que se obtienen mediante la trituración para obtener una mezcla estable. En caso de material de canto rodado la adherencia baja considerablemente.
- Se recomienda que las probetas trabajadas en laboratorio deberían ser compactadas con densidades similares a la que tendrán en la capa de rodadura en el lugar donde recibirán cargas vehiculares.
- Se recomienda elaborar una mezcla asfáltica densa que pueda mitigar efectos de desplazamiento en los pavimentos asfálticos. El asfalto al momento de su colocación debe ser rigurosamente compactado y al diseñar una mezcla se debería bajar los porcentajes de vacíos para que las partículas de agregado aumenten su contacto entre sí.

- Según el lugar con temperaturas altas es recomendable que las mezclas asfálticas contengan agregados rugosos o angulares evitando la separación de las partículas de agregados por efecto de calor.
- Se recomienda elaborar pavimentos flexibles con adición de caucho ya que prolonga el tiempo de vida útil comparada a una convencional.

REFERENCIAS

- Apunte: RESUMEN - Método Marshall. (n.d.). Filadd.Com. Retrieved March 8, 2022, from <https://filadd.com/doc/apunte-marshall-1-pdf-construccion-de-carreteras>
- Arroyo, R., Herrera, L., Salazar, Z., Giménez, J., Martínez, M. & Calahorra. (2018). Un nuevo enfoque para la integración de factores ambientales, sociales y económicos para evaluar mezclas asfálticas con y sin neumáticos de desecho. *Ingeniería de construcción*, vol. 33, núm. 3
- Cárdenas, J., & Fonseca, E. (2009). Modelación del comportamiento reológico de asfalto convencional y modificado con polímero reciclado, estudiada desde la relación viscosidad-temperatura. *Revista EIA*, 12, 125–137. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=149212815009>
- Carrizales, J. (2015). Asfalto modificado con material reciclado de llantas para su aplicación en pavimentos flexibles. (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Castillo, A. y Chávarri, A. (2020). Diseño de mezcla asfáltica en caliente con la incorporación de caucho reciclado en Lima, 2020. (Tesis de Título Profesional de Ingeniería Civil). Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Castro, G. (2007). *Reutilización, reciclado y disposición final de neumáticos*.
- Castro, W., & Rondón, H., & Barrero, J. (2016). Evaluación de las propiedades reológicas y térmicas de un asfalto convencional y uno modificado con un desecho de PEBD. *Ingeniería*, vol. 21, núm. 1, pp. 7-18
- Cervera, C. (2016). Influencia en las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica incorporando caucho reciclado de neumáticos, Cajamarca, 2016 (Tesis de Título Profesional de Ingeniería Civil). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.

- Chi, M., & Tuyub, J. (2015). Análisis de las propiedades físicas y eléctricas en compuestos a base de emulsiones asfálticas con elastómeros y partículas conductoras. *Ingeniería*, vol. 19, núm. 3, pp. 157-167
- Cutin, D. (2020) diseño de planta trituradora de neumáticos fuera de uso para la obtención de sus agregados industriales en la ciudad de Piura. (Tesis de Título Profesional de Ingeniería Civil). Universidad Nacional de Piura, Piura - Perú.
- Díaz, C. (2017). Implementación del grano de caucho reciclado (GCR) Proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas Asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá. (monografía de grado presentada como requisito para optar al título de ingeniero civil). Universidad Santo Tomás. Bogotá, Colombia.
- Figuroa, A., Reyes, F., & Hernández, D., & Jiménez, C., & Bohórquez, N. (2007). Análisis de un asfalto modificado con icopor y su incidencia en una mezcla asfáltica densa en caliente. *Ingeniería e investigación*, vol. 27, núm. 3, pp. 5-15
- Flores, M. (2007). Las variables: estructura y función en la hipótesis. *Investigación Educativa*, 11(20), 163-182.
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/educa/article/view/4785>
- Gómez, S. (2014) Diseño estructural del pavimento flexible para el anillo vial del Óvalo Grau – Trujillo - La Libertad. (Tesis de Título Profesional de Ingeniería Civil). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
- Jiménez, J. (2017). Propuesta de diseño de mezclas asfálticas con adiciones de pet. (Tesis de Título Profesional de Ingeniería Civil). Universidad Señor de Sipán. Pimentel – Perú.
- Martínez, B., Caicedo, D., Gonzáles, L., Celis, L., Fuentes, V. & Torres. (2018). Trece años de continuo desarrollo con mezclas asfálticas modificadas con Grano de Caucho

- Reciclado en Bogotá: Logrando sostenibilidad en pavimentos. *Ingeniería de construcción*, vol. 33, núm. 1
- Martín, A. (2004). Métodos de investigación de enfoque experimental. *Metodología de la investigación educativa*, 168–193.
- Monje, C. (s/f). Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa. Guía didáctica. Www.uv.mx. Recuperado el 18 de diciembre de 2021, de <https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/Guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf>
- Moreno, L. (2014). Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica densa en caliente tipo 2 MDC-2 elaborada con asfalto modificado con caucho vulcanizado de suela de bota militar. Universidad Católica de Colombia.
- Padilla, A. (2004). Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista. Universidad politécnica de Cataluña. Disponible en el portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC: <https://upcommons.upc.edu>.
- Peláez, G., Velásquez, S., & Giraldo, D. (2017). Aplicaciones de caucho reciclado: Una revisión de la literatura. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina*, 27(2), 27-50. <https://doi.org/10.18359/rcin.2143>
- Revelo M. (2014). Diseño de mezclas asfálticas en caliente modificadas con elastómero (caucho) y tereftalato de polietileno reciclados con ligante asfáltico ac-20 (Tesis previo a la obtención del título de ingeniero civil). Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, Ecuador.
- Reyes F., Guáqueta, C., Porras, L. & Rondón H. (2013) comportamiento de un cemento asfáltico modificado con un desecho de PVC. *Ingenierías*, vol. 12, núm. 22, pp 75-84

- Reyes, F., Guáqueta, C., Porras, L. & Rondón, H. (2013). Comportamiento de un cemento asfáltico modificado con un desecho de PVC. *Revista ingenierías*, vol. 12, núm22, pp. 75-84
- Rondón H. & Reyes F. (2009) Comportamiento de una mezcla densa en caliente elaborada con asfaltos modificados con asfáltica. *Tecno Lógicas*, núm. 22, pp. 141-161
- Rondón, H., Reyes, F., & Ojeda, B. (2008). Comportamiento de una mezcla densa de asfalto en caliente modificada con desecho de policloruro de vinilo (PVC). *Ciencia e ingeniería*, vol. 18, núm. 2
- Rondón, H., & Reyes, F. (2011). Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla densa en caliente modificada con un desecho de PVC. *Tecnológicas*, 27,11. <https://doi.org/10.22430/22565337.2>
- Rondón, H., Urazán, C., & Chaves, S. (2015). Influencia de la temperatura de compactación sobre la resistencia de un material granular estabilizado con asfalto en caliente tipo MGEA_A. *Tecnológicas*, vol. 18, núm34, pp. 51-62
- Rosa J. (2014). Caucho reciclado, mezclas asfálticas, pavimentos flexibles, asfaltos modificados, residuos de caucho. (Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Ingeniería de Pavimentos). Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Tapia, C. (2016) Utilización de fibras de polietileno de botellas de plástico para su aplicación en el diseño de mezclas asfálticas ecológicas en frío. (Tesis de Título Profesional de Ingeniería Civil). Universidad Señor de Sipán. Pimentel – Perú.
- Vargas, Z. (2009). La Investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación*, 33(1), 155. <https://doi.org/10.15517/revedu.v33i1.538>

Yung Y., Córdoba, J., & Rondón, H. (2016) Evaluación del desgaste por abrasión de una mezcla drenante modificada con residuo de llanta triturada (GCR). *Tecnura*, vol. 20, núm. 50, pp 1-25

ANEXOS

Anexo N°1: Datos de los agregados

AGREGADO GRUESO					
DESCRIPCIÓN		MUESTRAS			Promedio
		M-1	M-2	M-3	
A	Peso de la muestra SSS (W_{sss})	1017.53	1031.00	1025.15	1024.56
B	Peso de bandeja	86.00	86.00	86.00	86.00
C	Peso de la muestra SSS en el agua	697.93	692.98	699.42	696.78
D	Peso de la muestra secada en el horno (W_s)	1009.23	1006.56	1001.13	1005.64
E	Peso del materia sumergido: C-B (W_{sum})	611.93	606.98	613.42	610.78
F	Volumen: A-E	405.60	424.02	411.73	413.78
G	Gravedad específica bulk S.S.S: A/F (G_{sss})	2.51	2.43	2.49	2.48
H	Gravedad específica bulk Seca: D/F (G_m)	2.49	2.37	2.43	2.43
I	Gravedad específica Aparente: D/(F-(A-D)) (G_s)	2.54	2.52	2.58	2.55
J	% de Absorción: ((A-D)/D)*100 (Ab)	0.822	2.428	2.399	1.88

2.55

AGREGADO FINO					
DESCRIPCIÓN		MUESTRAS			Promedio
		M-1	M-2	M-3	
A	Peso de la muestra SSS (W_{sss})	457.9	457.9	457.9	457.90
B	Peso de la fiola + Agua	643	647	651	647.00
C	Peso de la fiola + Peso muestra SSS + Agua	921.12	919.84	921.55	920.84
D	Peso de la muestra secada en el horno (W_s)	440.18	439.11	440.25	439.85
E	Peso del materia sumergido: C-B (W_{sum})	278.12	272.84	270.55	273.84
F	Volumen: A-E	179.78	185.06	187.35	184.06
G	Gravedad específica bulk S.S.S: A/F (G_{sss})	2.55	2.47	2.44	2.49
H	Gravedad específica bulk Seca: D/F (G_m)	2.45	2.37	2.35	2.39
I	Gravedad específica Aparente: D/(F-(A-D)) (G_s)	2.72	2.64	2.59	2.65
J	% de Absorción: ((A-D)/D)*100 (Ab)	4.026	4.279	4.0	4.10

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS

Agregado grueso

$$G_m = \left(\frac{W_s}{W_{sss} - W_{sum}} \right) \quad 2.430$$

$$G_s = \left(\frac{W_s}{W_s - W_{sum}} \right) \quad 2.547$$

$$G_{sss} = \left(\frac{W_{sss}}{W_{sss} - W_{sum}} \right) \quad 2.476$$

Agregado fino

$$G_m = \left(\frac{W_s}{W_{sss} - W_{sum}} \right) \quad 2.390$$

$$G_s = \left(\frac{W_s}{W_s - W_{sum}} \right) \quad 2.650$$

$$G_{sss} = \left(\frac{W_{sss}}{W_{sss} - W_{sum}} \right) \quad 2.488$$

DATOS GENERALES DE LA MEZCLA

Porcentaje de los agregados

P1	40.0	% (Agregado grueso)
P2	60.0	% (Agregado fino)

Gravedad específica del asfalto

Gb	1.0252
-----------	--------

Gravedad específica neta del agregado

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2}} \quad 2.406$$

Anexo N°2: Diseño de mezcla con 5.0% de cemento asfáltico

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO PARA DIFERENTES PORCENTAJES DE ASFALTO

% Asfalto	5.0%
-----------	------

Gravedad específica teórica máxima AASHTO T-209 (Gmm)						
N°	A	B	C	D=C-A	E	D/(B+D-E)
	Peso del recipiente	Peso del recipiente + agua	Peso del recipiente + muestra	Peso de la muestra	Peso del recipiente + agua + muestra después del vacío parcial	Gmm
1	2514	7725	4125	1611	8641	2.318

Estabilidad Marshall AASHTO T-245							
N° de probeta	D	H	Carga		lbf	carga corregida kN	Flujo
	cm	cm	KN	kgf			mm
1	6.49	4.00	8.81	898.36	1980.58	8.81	8.36
2	6.49	4.06	9.39	957.50	2110.97	9.39	9.08
3	6.48	3.97	8.23	839.21	1850.19	8.23	8.65
Promedio	....	....	....	898.36	....	8.81	8.70

Gravedad específica de la mezcla AASHTO T-166 (Gmb)				
N° de probeta	Peso neto seco de la probeta W1	Peso saturado de la probeta W2	Peso neto sumergido de la probeta W3	Gmb
1	269.3	273.5	151.5	2.207
2	270.4	274.4	153.9	2.244
3	265.2	270.1	149.4	2.197
Promedio	268.30	272.7	151.60	2.216181

Cálculo para el diseño

Pb	5.00	% Cemento Asfáltico
Ps	95.00	% Agregados
Pmm	100.00	Total

$$Gmm = \left(\frac{W_{muestra}}{W_{rec} + W_{muestra} - W_{rec+agua+M.D.V.P.}} \right) = 2.318$$

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}} = 2.48 \quad VMA = 100 - \left(Gmb * \frac{Ps}{Gsb} \right) = 12.49 \%$$

$$Gmb = \left(\frac{W1}{W2 - W3} \right) = 2.22 \quad VFA = 100 * \left(\frac{VMA - Va}{VMA} \right) = 64.82 \%$$

$$Pba = 100 * \frac{Gse - Gsb}{Gsb * Gse} * Gb = 1.32 \% \quad Estabilidad = 8.81 \text{ kgf}$$

$$Pbe = Pb - \left(Pba * \frac{Ps}{100} \right) = 3.74 \% \quad Flujo = 8.70 \text{ mm}$$

$$Va = 100 * \left(\frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) = 4.39 \%$$

Anexo N°3: Diseño de mezcla con 5.5% de cemento asfáltico

% Asfalto	5.5%
-----------	------

Gravedad específica teórica máxima AASHTO T-209 (Gmm)						
N°	A	B	C	D=C-A	E	D/(B+D-E)
	Peso del recipiente	Peso del recipiente + agua	Peso del recipiente + muestra	Peso de la muestra	Peso del recipiente + agua + muestra después del vacío parcial	Gmm
1	2514	7725	4137	1623	8657	2.349

Estabilidad Marshall AASHTO T-245							
N° de probeta	D	H	Carga		lbf	carga corregida KN	Flujo mm
	cm	cm	KN	kgf			
1	6.49	3.63	8.96	913.65	2014.30	8.96	8.68
2	6.49	4.00	9.95	1014.60	2236.86	9.95	9.85
3	6.51	3.42	9.28	946.28	2086.24	9.28	8.59
Promedio	....	....	....	958.18	....	9.40	9.04

Gravedad específica de la mezcla AASHTO T-166 (Gmb)				
N° de probeta	Peso neto seco de la probeta (g) W1	Peso saturado de la probeta (g) W2	Peso neto sumergido de la probeta (g) W3	Gmb
1	253.2	256.2	142.2	2.221
2	256.5	258.4	145.7	2.276
3	254.2	255.9	143.7	2.266
Promedio	254.63	256.8	143.87	2.254

Calculo para el diseño

Pb	5.50	% Cemento Asfáltico
Ps	94.50	% Agregados
Pmm	100.00	Total

$$Gmm = \left(\frac{W_{muestra}}{W_{rec} + W_{muestra} - W_{rec+agua+M.D.V.P.}} \right) \quad 2.349$$

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}} \quad 2.54 \quad VMA = 100 - \left(Gmb * \frac{Ps}{Gsb} \right) \quad 11.46 \%$$

$$Gmb = \left(\frac{W1}{W2 - W3} \right) \quad 2.25 \quad VFA = 100 * \left(\frac{VMA - Va}{VMA} \right) \quad 64.81 \%$$

$$Pba = 100 * \frac{Gse - Gsb}{Gsb * Gse} * Gb \quad 2.25 \% \quad \text{Estabilidad} = \quad 9.40 \text{ kgf}$$

$$Pbe = Pb - \left(Pba * \frac{Ps}{100} \right) \quad 3.38 \% \quad \text{Flujo} = \quad 9.04$$

$$Va = 100 * \left(\frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) \quad 4.03 \%$$

Anexo N°4: Diseño de mezcla con 6.0% de cemento asfáltico

% Asfalto	6.0%
-----------	------

Gravedad específica teórica máxima AASHTO T-209 (Gmm)						
N°	A	B	C	D=C-A	E	D/(B+D-E)
	Peso del recipiente	Peso del recipiente + agua	Peso del recipiente + muestra	Peso de la muestra	Peso del recipiente + agua + muestra después del vacío parcial	Gmm
1	2514	7725	4142	1628	8664	2.363

Estabilidad Marshall AASHTO T-245							
N° de probeta	D	H	Carga		lbf	KN	Flujo
	cm	cm	KN	kgf			mm
1	6.48	3.55	9.10	927.93	2045.77	9.10	8.30
2	6.50	3.45	9.73	992.17	2187.40	9.73	9.60
3	6.49	4.75	10.80	1101.28	2427.95	10.80	8.53
Promedio	....	....	....	1007.12	....	9.88	8.81

Gravedad específica de la mezcla AASHTO T-166 (Gmb)				
N° de probeta	Peso neto seco de la probeta (g) W1	Peso saturado de la probeta (g) W2	Peso neto sumergido de la probeta (g) W3	Gmb
1	249.2	250.8	141.5	2.280
2	248.6	250.3	140.6	2.266
3	251.3	252.9	142.3	2.272
Promedio	249.70	251.3	141.47	2.27277

Calculo para el diseño

Pb	6.00	% Cemento Asfáltico
Ps	94.00	% Agregados
Pmm	100.00	Total

$$Gmm = \left(\frac{W_{muestra}}{W_{rec} + W_{muestra} - W_{rec+agua+M.D.V.P.}} \right) = 2.363$$

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}} = 2.58$$

$$VMA = 100 - \left(Gmb * \frac{Ps}{Gsb} \right) = 11.20 \%$$

$$Gmb = \left(\frac{W1}{W2 - W3} \right) = 2.273$$

$$VFA = 100 * \left(\frac{VMA - Va}{VMA} \right) = 65.95 \%$$

$$Pba = 100 * \frac{Gse - Gsb}{Gsb * Gse} * Gb = 2.84 \%$$

$$\text{Estabilidad} = 9.88 \text{ kgf}$$

$$Pbe = Pb - \left(Pba * \frac{Ps}{100} \right) = 3.33 \%$$

$$\text{Flujo} = 8.81$$

$$Va = 100 * \left(\frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) = 3.813 \%$$

Anexo N°5: Diseño de mezcla con 6.5% de cemento asfáltico

% Asfalto	6.5%
-----------	------

Gravedad específica teórica máxima AASHTO T-209 (Gmm)						
N°	A	B	C	D=C-A	E	D/(B+D-E)
	Peso del recipiente	Peso del recipiente + agua	Peso del recipiente + muestra	Peso de la muestra	Peso del recipiente + agua + muestra después del vacío parcial	Gmm
1	2514	7725	4159	1645	8694	2.433

Estabilidad Marshall AASHTO T-245							
N° de probeta	D	H	Carga		lbf	KN	Flujo mm
	cm	cm	KN	kgf			
1	6.49	3.58	9.35	953.42	2101.97	9.35	9.59
2	6.47	3.61	8.74	891.22	1964.84	8.74	10.34
3	6.46	3.02	9.31	949.34	2092.98	9.31	10.35
Promedio	....	....	....	931.33	....	9.13	10.09

Gravedad específica de la mezcla AASHTO T-166 (Gmb)				
N° de probeta	Peso neto seco de la probeta (g) W1	Peso saturado de la probeta (g) W2	Peso neto sumergido de la probeta (g) W3	Gmb
1	271.3	273.2	157.1	2.337
2	266.8	268.4	155.4	2.361
3	267.5	269.6	154.3	2.320
Promedio	268.53	270.40	155.60	2.339

Calculo para el diseño

Pb	6.50	% Cemento Asfáltico
Ps	93.50	% Agregados
Pmm	100.00	Total

$$Gmm = \left(\frac{W_{muestra}}{W_{rec} + W_{muestra} - W_{rec+agua+M.D.V.P.}} \right) \quad 2.433$$

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}} \quad 2.69 \quad VMA = 100 - \left(Gmb * \frac{Ps}{Gsb} \right) \quad 9.09 \%$$

$$Gmb = \left(\frac{W1}{W2 - W3} \right) \quad 2.34 \quad VFA = 100 * \left(\frac{VMA - Va}{VMA} \right) \quad 57.37 \%$$

$$Pba = 100 * \frac{Gse - Gsb}{Gsb * Gse} * Gb \quad 4.51 \% \quad Estabilidad = \quad 9.13 \text{ kgf}$$

$$Pbe = Pb - \left(Pba * \frac{Ps}{100} \right) \quad 2.29 \% \quad Flujo = \quad 10.09 \text{ mm}$$

$$Va = 100 * \left(\frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) \quad 3.87 \%$$

Anexo N°6: Diseño de mezcla con 7.0% de cemento asfáltico

% Asfalto	7.0%
-----------	------

Gravedad específica teórica máxima AASHTO T-209 (Gmm)						
N°	A	B	C	D=C-A	E	D/(B+D-E)
	Peso del recipiente	Peso del recipiente + agua	Peso del recipiente + muestra	Peso de la muestra	Peso del recipiente + agua + muestra después del vacío parcial	Gmm
1	2514	7725	4178	1664	8698	2.408

Estabilidad Marshall AASHTO T-245							
N° de probeta	D	H	Carga		lbf	carga corregida KN	Flujo mm
	cm	cm	KN	kgf			
1	6.48	3.47	8.07	822.90	1814.22	8.07	9.59
2	6.48	3.64	9.51	969.73	2137.94	9.51	11.34
3	6.47	3.35	8.11	826.98	1823.21	8.11	10.35
Promedio	....	....	....	873.20	....	8.56	10.43

Gravedad específica de la mezcla AASHTO T-166 (Gmb)				
N° de probeta	Peso neto seco de la probeta (g) W1	Peso saturado de la probeta (g) W2	Peso neto sumergido de la probeta (g) W3	Gmb
1	248.9	253.9	144.8	2.281
2	257.9	259.6	147.7	2.305
3	249.7	251.5	146.6	2.380
Promedio	252.15	255.00	146.37	2.32204

Calculo para el diseño

Pb	7.00	% Cemento Asfáltico
Ps	93.00	% Agregados
Pmm	100.00	Total

$$Gmm = \left(\frac{W_{muestra}}{W_{rec} + W_{muestra} - W_{rec+agua+M.D.V.P}} \right) = 2.408$$

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}} = 2.68$$

$$VMA = 100 - \left(Gmb * \frac{Ps}{Gsb} \right) = 10.27 \%$$

$$Gmb = \left(\frac{W1}{W2 - W3} \right) = 2.321$$

$$VFA = 100 * \left(\frac{VMA - Va}{VMA} \right) = 64.84 \%$$

$$Pba = 100 * \frac{Gse - Gsb}{Gsb * Gse} * Gb = 4.36 \%$$

$$\text{Estabilidad} = 8.56 \text{ kgf}$$

$$Pbe = Pb - \left(Pba * \frac{Ps}{100} \right) = 2.94 \%$$

$$\text{Flujo} = 10.43 \text{ mm}$$

$$Va = 100 * \left(\frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) = 3.61 \%$$

Anexo N°7: Diseño de mezcla con 7.5% de cemento asfáltico

% Asfalto	7.5%
-----------	------

Gravedad específica teórica máxima AASHTO T-209 (Gmm)						
N°	A	B	C	D=C-A	E	D/(B+D-E)
	Peso del recipiente	Peso del recipiente + agua	Peso del recipiente + muestra	Peso de la muestra	Peso del recipiente + agua + muestra después del vacío parcial	Gmm
1	2514	7725	4200	1686	8711	2.409

Estabilidad Marshall AASHTO T-245							
N° de probeta	D	H	Carga		lbf	KN	Flujo
	cm	cm	KN	kgf			mm
1	6.45	3.60	8.28	844.31	1861.43	8.28	10.40
2	6.43	3.63	7.42	756.62	1668.09	7.42	10.40
3	6.49	3.84	9.25	943.22	2079.49	9.25	10.73
Promedio	....	....	....	848.05	....	8.32	10.51

Gravedad específica de la mezcla AASHTO T-166 (Gmb)				
N° de probeta	Peso neto seco de la probeta (g) W1	Peso saturado de la probeta (g) W2	Peso neto sumergido de la probeta (g) W3	Gmb
1	244.4	246.5	143.5	2.373
2	241.2	243.4	141.8	2.374
3	256.1	258.3	143.5	2.231
Promedio	247.23	249.40	142.93	2.32589

Calculo para el diseño

Pb	7.50	% Cemento Asfáltico
Ps	92.50	% Agregados
Pmm	100.00	Total

$$Gmm = \left(\frac{W_{muestra}}{W_{rec} + W_{muestra} - W_{rec+agua+M.D.V.P.}} \right) = 2.409$$

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}} = 2.70 \quad VMA = 100 - \left(Gmb * \frac{Ps}{Gsb} \right) = 10.71 \%$$

$$Gmb = \left(\frac{W1}{W2 - W3} \right) = 2.32217 \quad VFA = 100 * \left(\frac{VMA - Va}{VMA} \right) = 66.52 \%$$

$$Pba = 100 * \frac{Gse - Gsb}{Gsb * Gse} * Gb = 4.71 \% \quad Estabilidad = 8.32 \text{ kgf}$$

$$Pbe = Pb - \left(Pba * \frac{Ps}{100} \right) = 3.15 \% \quad Flujo = 10.51 \text{ mm}$$

$$Va = 100 * \left(\frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) = 3.59 \%$$

Anexo N°8: Diseño de mezcla con 8.0% de cemento asfáltico

% Asfalto	8.0%
-----------	------

Gravedad específica teórica máxima AASHTO T-209 (Gmm)						
N°	A	B	C	D=C-A	E	D/(B+D-E)
	Peso del recipiente	Peso del recipiente + agua	Peso del recipiente + muestra	Peso de la muestra	Peso del recipiente + agua + muestra después del vacío parcial	Gmm
1	2514	7725	4220	1706	8724	2.413

Estabilidad Marshall AASHTO T-245							
N° de probeta	D	H	Carga		lbf	KN	Flujo mm
	cm	cm	KN	kgf			
1	6.45	3.61	8.14	830.04	1829.95	8.14	10.35
2	6.43	3.63	8.76	893.26	1969.34	8.76	10.21
3	6.49	3.84	7.05	718.89	1584.91	7.05	11.62
Promedio	....	....	....	814.06	....	7.98	10.73

Gravedad específica de la mezcla AASHTO T-166 (Gmb)				
N° de probeta	Peso neto seco de la probeta (g) W1	Peso saturado de la probeta (g) W2	Peso neto sumergido de la probeta (g) W3	Gmb
1	243.5	245.5	143.8	2.394
2	240.5	242.9	141.6	2.374
3	255.4	258.6	144.5	2.238
Promedio	246.47	249.00	143.30	2.33561

Calculo para el diseño

Pb	8.00	% Cemento Asfáltico
Ps	92.00	% Agregados
Pmm	100.00	Total

$$Gmm = \left(\frac{W_{muestra}}{W_{rec} + W_{muestra} - W_{rec+agua+M.D.V.P.}} \right) = 2.413$$

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}} = 2.73 \quad VMA = 100 - \left(Gmb * \frac{Ps}{Gsb} \right) = 10.83 \%$$

$$Gmb = \left(\frac{W1}{W2 - W3} \right) = 2.33176 \quad VFA = 100 * \left(\frac{VMA - Va}{VMA} \right) = 68.91 \%$$

$$Pba = 100 * \frac{Gse - Gsb}{Gsb * Gse} * Gb = 5.13 \% \quad Estabilidad = 7.98 \text{ kgf}$$

$$Pbe = Pb - \left(Pba * \frac{Ps}{100} \right) = 3.28 \% \quad Flujo = 10.73 \text{ mm}$$

$$Va = 100 * \left(\frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) = 3.37 \%$$

Anexo N°9: Cuadros de resultados obtenidos

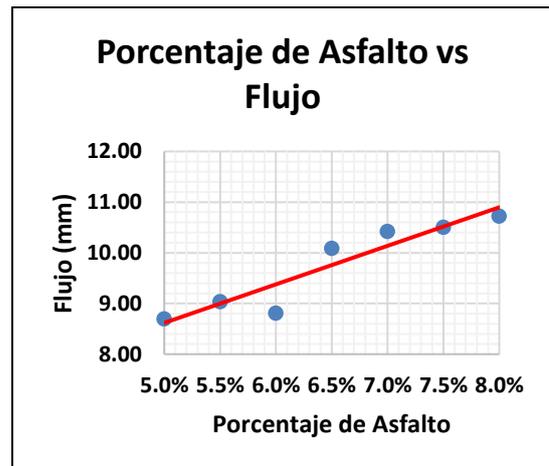
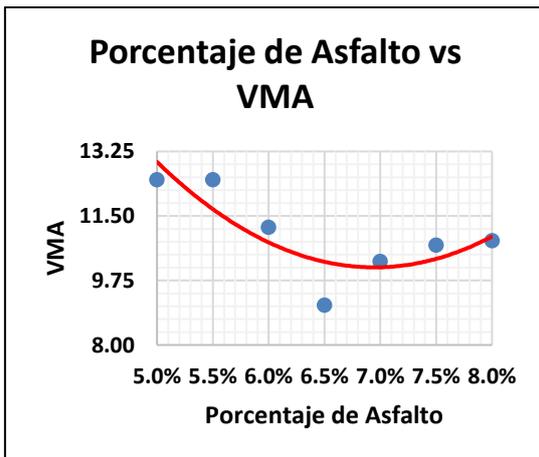
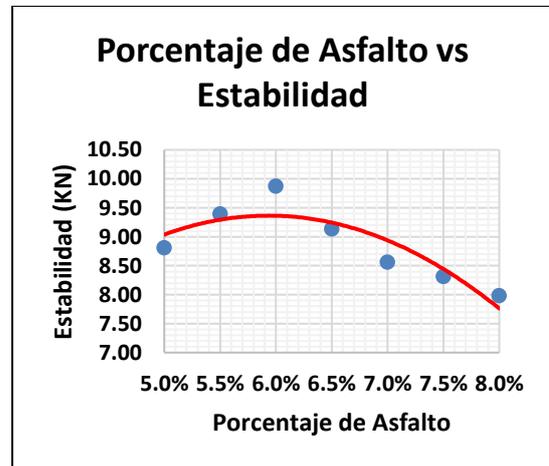
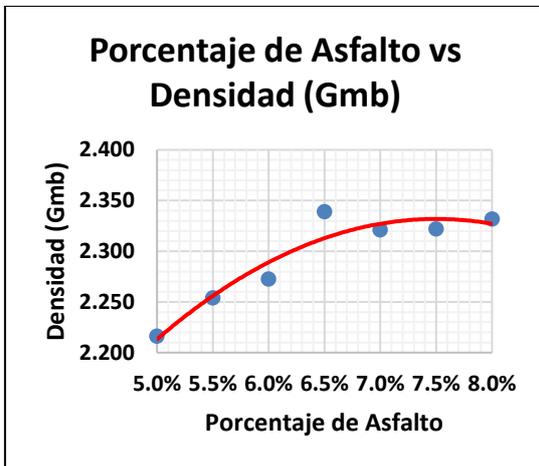
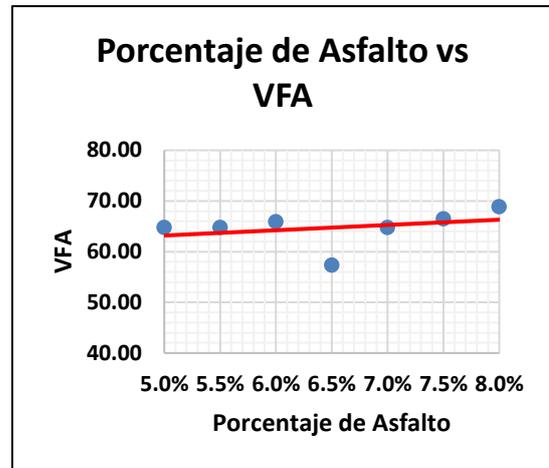
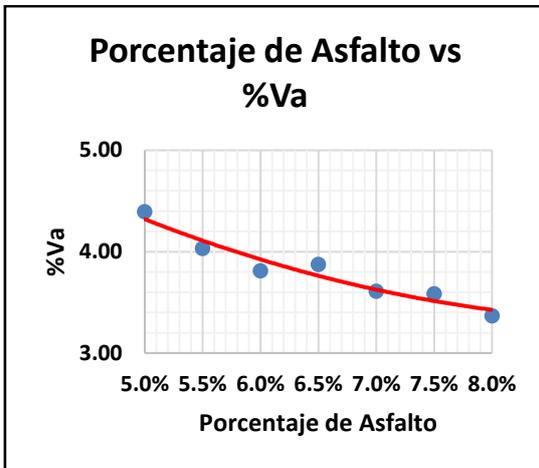
Resultados obtenidos

Porcentaje de asfalto (Pb)	Gravedad Específica neta del agregado (Gsb)	Gravedad específica efectiva (Gse)	Gravedad teórica máxima de la mezcla (Gmm)	Densidad (Gmb)	Vacíos (Va) (%)
5.0%	2.406	2.48	2.318	2.216	4.39
5.5%		2.54	2.349	2.254	4.03
6.0%		2.58	2.363	2.273	3.81
6.5%		2.69	2.433	2.339	3.87
7.0%		2.68	2.408	2.321	3.61
7.5%		2.70	2.409	2.322	3.59
8.0%		2.73	2.413	2.332	3.37

Fuente: Elaboración propia.

Porcentaje de asfalto (Pb)	VMA (%)	Vacíos llenados con asfalto (VFA) (%)	Porcentaje de asfalto absorbido (Pba) (%)	Contenido de asfalto efectivo (Pbe) (%)	Flujo (0.25 mm)	Estabilidad (KN)
5.0%	12.49	64.82	1.322	3.744	8.70	8.81
5.5%	12.49	64.81	2.246	3.378	9.04	9.40
6.0%	11.20	65.95	2.839	3.331	8.81	9.88
6.5%	9.09	57.37	4.508	2.285	10.09	9.13
7.0%	10.27	64.84	4.364	2.942	10.43	8.56
7.5%	10.71	66.52	4.707	3.146	10.51	8.32
8.0%	10.83	68.91	5.129	3.281	10.73	7.98

Anexo N°10: Gráficos para mezcla convencional de 5.0 %, 5.5%, 6.0%, 7.0%, 7.5% - 8.0 %.



Anexo N°11: Cálculos para diseño mezcla tradicional con 40% arena y 60% piedra
DATOS DE LOS AGREGADOS

AGREGADO GRUESO					
DESCRIPCIÓN		MUESTRAS			Promedio
		M-1	M-2	M-3	
A	Peso de la muestra SSS (W_{sss})	1017.53	1031.00	1025.15	1024.56
B	Peso de bandeja	86.00	86.00	86.00	86.00
C	Peso de la muestra SSS en el agua	697.93	692.98	699.42	696.78
D	Peso de la muestra secada en el horno	1009.23	1006.56	1001.13	1005.64
E	Peso del materia sumergido: C-B	611.93	606.98	613.42	610.78
F	Volumen: A-E	405.60	424.02	411.73	413.78
G	Gravedad específica bulk S.S.S: A/F	2.51	2.43	2.49	2.48
H	Gravedad específica bulk Seca: D/F (G_m)	2.49	2.37	2.43	2.43
I	Gravedad específica Aparente: D/(F-(A-D))	2.54	2.52	2.58	2.55
J	% de Absorción: ((A-D)/D)*100 (A_b)	0.822	2.428	2.399	1.88

AGREGADO FINO					
DESCRIPCIÓN		MUESTRAS			Promedio
		M-1	M-2	M-3	
A	Peso de la muestra SSS (W_{sss})	457.9	457.9	457.9	457.90
B	Peso de la fiola + Agua	643	647	651	647.00
C	Peso de la fiola + Peso muestra SSS +	921.12	919.84	921.55	920.84
D	Peso de la muestra secada en el horno	440.18	439.11	440.25	439.85
E	Peso del materia sumergido: C-B	278.12	272.84	270.55	273.84
F	Volumen: A-E	179.78	185.06	187.35	184.06
G	Gravedad específica bulk S.S.S: A/F	2.55	2.47	2.44	2.49
H	Gravedad específica bulk Seca: D/F (G_m)	2.45	2.37	2.35	2.39
I	Gravedad específica Aparente: D/(F-(A-D))	2.72	2.64	2.59	2.65
J	% de Absorción: ((A-D)/D)*100 (A_b)	4.026	4.279	4.009	4.10

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS
Agregado grueso

$$G_m = \left(\frac{W_s}{W_{sss} - W_{sum}} \right) \quad 2.430$$

$$G_s = \left(\frac{W_s}{W_s - W_{sum}} \right) \quad 2.547$$

$$G_{sss} = \left(\frac{W_{sss}}{W_{sss} - W_{sum}} \right) \quad 2.476$$

Agregado fino

$$G_m = \left(\frac{W_s}{W_{sss} - W_{sum}} \right) \quad 2.390$$

$$G_s = \left(\frac{W_s}{W_s - W_{sum}} \right) \quad 2.650$$

$$G_{sss} = \left(\frac{W_{sss}}{W_{sss} - W_{sum}} \right) \quad 2.488$$

DATOS GENERALES DE LA MEZCLA
Porcentaje de los agregados

P1	60.0	% (Agregado grueso)
P2	40.0	% (Agregado fino)

Gravedad específica del asfalto

Gb	1.0252
-----------	--------

Gravedad específica neta del agregado

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2}} \quad 2.414$$

Anexo N°12: Diseño de mezcla con 5.0% de cemento asfáltico

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO PARA DIFERENTES PORCENTAJES DE ASFALTO

% Asfalto	5.0%
-----------	------

Gravedad específica teórica máxima AASHTO T-209 (Gmm)						
N°	A	B	C	D=C-A	E	D/(B+D-E)
	Peso del recipiente	Peso del recipiente + agua	Peso del recipiente + muestra	Peso de la muestra	Peso del recipiente + agua + muestra después del vacío parcial	Gmm
1	2514	7725	4289	1775	8761	2.402

Estabilidad Marshall AASHTO T-245							
N° de probeta	D	H	Carga		lbf	KN	Flujo
	cm	cm	KN	kgf				mm
1	6.52	3.70	5.86	597.54	1317.39	5.86	9.56
2	6.34	4.23	5.81	592.45	1306.15	5.81	10.75
3	6.55	3.83	5.83	594.49	1310.64	5.83	9.85
Promedio	....	....	....	594.83	....	5.83	10.05

Gravedad específica de la mezcla AASHTO T-166 (Gmb)				
N° de probeta	Peso neto seco de la probeta W1	Peso saturado de la probeta W2	Peso neto sumergido de la probeta W3	Gmb
1	258.6	260.4	145.8	2.257
2	257.6	259.3	145.4	2.262
3	259.4	261.1	146.3	2.260
Promedio	258.53	260.3	145.83	2.259

Calculo para el diseño

Pb	5.00	% Cemento Asfáltico
Ps	95.00	% Agregados
Pmm	100.00	Total

$$Gmm = \left(\frac{W_{muestra}}{W_{rec} + W_{muestra} - W_{rec+agua+M.D.V.P.}} \right) = 2.402$$

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}} = 2.58 \quad VMA = 100 - \left(Gmb * \frac{Ps}{Gsb} \right) = 11.09 \%$$

$$Gmb = \left(\frac{W1}{W2 - W3} \right) = 2.26 \quad VFA = 100 * \left(\frac{VMA - Va}{VMA} \right) = 46.43 \%$$

$$Pba = 100 * \frac{Gse - Gsb}{Gsb * Gse} * Gb = 2.80 \% \quad Estabilidad = 5.83 \text{ kgf}$$

$$Pbe = Pb - \left(Pba * \frac{Ps}{100} \right) = 2.34 \% \quad Flujo = 10.05$$

$$Va = 100 * \left(\frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) = 5.94 \%$$

Anexo N°13: Diseño de mezcla con 5.5% de cemento asfáltico

% Asfalto	5.5%
-----------	------

Gravedad específica teórica máxima AASHTO T-209 (Gmm)						
N°	A	B	C	D=C-A	E	D/(B+D-E)
	Peso del recipiente	Peso del recipiente + agua	Peso del recipiente + muestra	Peso de la muestra	Peso del recipiente + agua + muestra después del vacío parcial	Gmm
1	2514	7725	4291	1777	8770	2.428

Estabilidad Marshall AASHTO T-245							
N° de probeta	D	H	Carga		lbf	KN	Flujo
	cm	cm	KN	kgf				mm
1	6.33	4.06	5.98	609.78	1344.36	5.98	9.68
2	6.39	3.50	5.96	607.74	1339.87	5.96	9.81
3	6.48	3.56	6.15	627.12	1382.58	6.15	9.59
Promedio	....	....	....	614.88	....	6.03	9.69

Gravedad específica de la mezcla AASHTO T-166 (Gmb)				
N° de probeta	Peso neto seco de la probeta (g) W1	Peso saturado de la probeta (g) W2	Peso neto sumergido de la probeta (g) W3	Gmb
1	258.5	260.3	147.5	2.292
2	255.7	257.4	146.3	2.302
3	258.7	260.7	147.5	2.285
Promedio	257.63	259.5	147.10	2.293

Calculo para el diseño

Pb	5.50	% Cemento Asfáltico
Ps	94.50	% Agregados
Pmm	100.00	Total

$$Gmm = \left(\frac{W_{muestra}}{W_{rec} + W_{muestra} - W_{rec+agua+M.D.V.P.}} \right) = 2.428$$

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}} = 2.64 \quad VMA = 100 - \left(Gmb * \frac{Ps}{Gsb} \right) = 10.24 \%$$

$$Gmb = \left(\frac{W1}{W2 - W3} \right) = 2.293 \quad VFA = 100 * \left(\frac{VMA - Va}{VMA} \right) = 45.78 \%$$

$$Pba = 100 * \frac{Gse - Gsb}{Gsb * Gse} * Gb = 3.60 \% \quad Estabilidad = 6.03 \text{ kgf}$$

$$Pbe = Pb - \left(Pba * \frac{Ps}{100} \right) = 2.10 \% \quad Flujo = 9.69$$

$$Va = 100 * \left(\frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) = 5.55 \%$$

Anexo N°14: Diseño de mezcla con 6.0% de cemento asfáltico

% Asfalto	6.0%
-----------	------

Gravedad específica teórica máxima AASHTO T-209 (Gmm)						
N°	A	B	C	D=C-A	E	D/(B+D-E)
	Peso del recipiente	Peso del recipiente + agua	Peso del recipiente + muestra	Peso de la muestra	Peso del recipiente + agua + muestra después del vacío parcial	Gmm
1	2514	7725	4300	1786	8774	2.423

Estabilidad Marshall AASHTO T-245							
N° de probeta	D	H	Carga		lbf	KN	Flujo
	cm	cm	KN	kgf				mm
1	6.33	4.06	6.34	646.49	1425.30	6.34	9.68
2	6.39	3.50	6.29	641.39	1414.05	6.29	9.85
3	6.43	3.56	6.38	650.57	1434.29	6.38	9.59
Promedio	....	....	....	646.15	....	6.34	9.71

Gravedad específica de la mezcla AASHTO T-166 (Gmb)				
N° de probeta	Peso neto seco de la probeta (g) W1	Peso saturado de la probeta (g) W2	Peso neto sumergido de la probeta (g) W3	Gmb
1	248.5	250.8	142.8	2.301
2	246.3	249.5	141.9	2.289
3	251.7	253.3	143.6	2.294
Promedio	248.83	251.2	142.77	2.295

Calculo para el diseño

Pb	6.00	% Cemento Asfáltico
Ps	94.00	% Agregados
Pmm	100.00	Total

$$Gmm = \left(\frac{W_{muestra}}{W_{rec} + W_{muestra} - W_{rec+agua+M.D.V.P.}} \right) = 2.423$$

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}} = 2.65 \quad VMA = 100 - \left(Gmb * \frac{Ps}{Gsb} \right) = 10.64 \%$$

$$Gmb = \left(\frac{W1}{W2 - W3} \right) = 2.29 \quad VFA = 100 * \left(\frac{VMA - Va}{VMA} \right) = 50.14 \%$$

$$Pba = 100 * \frac{Gse - Gsb}{Gsb * Gse} * Gb = 3.85 \% \quad Estabilidad = 6.34 \text{ kgf}$$

$$Pbe = Pb - \left(Pba * \frac{Ps}{100} \right) = 2.38 \% \quad Flujo = 9.71$$

$$Va = 100 * \left(\frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) = 5.30 \% \quad \text{mm}$$

Anexo N°15: Diseño de mezcla con 6.5% de cemento asfáltico

% Asfalto	6.5%
-----------	------

Gravedad específica teórica máxima AASHTO T-209 (Gmm)						
N°	A	B	C	D=C-A	E	D/(B+D-E)
	Peso del recipiente	Peso del recipiente + agua	Peso del recipiente + muestra	Peso de la muestra	Peso del recipiente + agua + muestra después del vacío parcial	Gmm
1	2514	7725	4306	1792	8778	2.425

Estabilidad Marshall AASHTO T-245							
N° de probeta	D	H	Carga		lbf	KN	Flujo
	cm	cm	KN	kgf			
1	6.49	4.22	5.96	607.74	1339.87	5.96	8.98
2	6.47	3.86	8.26	842.27	1856.93	8.26	10.68
3	6.44	3.41	7.51	765.79	1688.32	7.51	10.95
Promedio	....	....	....	738.60	....	7.24	10.20

Gravedad específica de la mezcla AASHTO T-166 (Gmb)				
N° de probeta	Peso neto seco de la probeta (g) W1	Peso saturado de la probeta (g) W2	Peso neto sumergido de la probeta (g) W3	Gmb
1	270.3	272.2	155.1	2.308
2	266.3	268.4	152.4	2.296
3	268.5	269.6	153.3	2.309
Promedio	268.37	270.07	153.60	2.304

Calculo para el diseño

Pb	6.50	% Cemento Asfáltico
Ps	93.50	% Agregados
Pmm	100.00	Total

$$Gmm = \left(\frac{W_{muestra}}{W_{rec} + W_{muestra} - W_{rec+agua+M.D.V.P}} \right) = 2.425$$

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}} = 2.68 \quad VMA = 100 - \left(Gmb * \frac{Ps}{Gsb} \right) = 10.75 \%$$

$$Gmb = \left(\frac{W1}{W2 - W3} \right) = 2.30 \quad VFA = 100 * \left(\frac{VMA - Va}{VMA} \right) = 53.70 \%$$

$$Pba = 100 * \frac{Gse - Gsb}{Gsb * Gse} * Gb = 4.21 \% \quad Estabilidad = 7.24 \text{ kgf}$$

$$Pbe = Pb - \left(Pba * \frac{Ps}{100} \right) = 2.57 \% \quad Flujo = 10.20 \text{ mm}$$

$$Va = 100 * \left(\frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) = 4.98 \%$$

Anexo N°16: Diseño de mezcla con 7.0% de cemento asfáltico

% Asfalto	7.0%
-----------	------

Gravedad específica teórica máxima AASHTO T-209 (Gmm)						
N°	A	B	C	D=C-A	E	D/(B+D-E)
	Peso del recipiente	Peso del recipiente + agua	Peso del recipiente + muestra	Peso de la muestra	Peso del recipiente + agua + muestra después del vacío parcial	Gmm
1	2514	7725	4310	1796	8780	2.424

Estabilidad Marshall AASHTO T-245							
N° de probeta	D	H	Carga		lbf	KN	Flujo
	cm	cm	KN	kgf			mm
1	6.49	3.59	7.24	738.26	1627.62	7.24	9.59
2	6.49	3.87	6.54	666.88	1470.26	6.54	11.34
3	6.51	3.64	7.44	758.66	1672.59	7.44	10.35
Promedio	....	....	....	721.27	....	7.07	10.43

Gravedad específica de la mezcla AASHTO T-166 (Gmb)				
N° de probeta	Peso neto seco de la probeta (g) W1	Peso saturado de la probeta (g) W2	Peso neto sumergido de la probeta (g) W3	Gmb
1	249.5	250.7	145.5	2.372
2	256.1	260.1	146.2	2.248
3	246.2	249.3	143.2	2.320
Promedio	250.60	253.37	144.97	2.31353

Calculo para el diseño

Pb	7.00	% Cemento Asfáltico
Ps	93.00	% Agregados
Pmm	100.00	Total

$$Gmm = \left(\frac{W_{muestra}}{W_{rec} + W_{muestra} - W_{rec+agua+M.D.V.P}} \right) = 2.424$$

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}} = 2.70 \quad VMA = 100 - \left(Gmb * \frac{Ps}{Gsb} \right) = 10.93 \%$$

$$Gmb = \left(\frac{W1}{W2 - W3} \right) = 2.31 \quad VFA = 100 * \left(\frac{VMA - Va}{VMA} \right) = 57.76 \%$$

$$Pba = 100 * \frac{Gse - Gsb}{Gsb * Gse} * Gb = 4.52 \% \quad Estabilidad = 7.07 \text{ kgf}$$

$$Pbe = Pb - \left(Pba * \frac{Ps}{100} \right) = 2.80 \% \quad Flujo = 10.43 \text{ mm}$$

$$Va = 100 * \left(\frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) = 4.619 \%$$

Anexo N°17: Diseño de mezcla con 7.5% de cemento asfáltico

% Asfalto	7.5%
-----------	------

Gravedad específica teórica máxima AASHTO T-209 (Gmm)						
N°	A	B	C	D=C-A	E	D/(B+D-E)
	Peso del recipiente	Peso del recipiente + agua	Peso del recipiente + muestra	Peso de la muestra	Peso del recipiente + agua + muestra después del vacío parcial	Gmm
1	2514	7725	4334	1820	8796	2.430

Estabilidad Marshall AASHTO T-245							
N° de probeta	D	H	Carga		lbf	KN	Flujo
	cm	cm	KN	kgf			
1	6.50	3.91	6.34	646.49	1425.30	6.34	9.93
2	6.42	4.01	7.06	719.91	1587.16	7.06	10.18
3	6.45	4.76	7.02	715.83	1578.17	7.02	10.85
Promedio	....	....	....	694.08	....	6.81	10.32

Gravedad específica de la mezcla AASHTO T-166 (Gmb)				
N° de probeta	Peso neto seco de la probeta (g) W1	Peso saturado de la probeta (g) W2	Peso neto sumergido de la probeta (g) W3	Gmb
1	277.1	278.7	160.2	2.338
2	279.4	282.8	162.4	2.321
3	281.7	283.7	163.2	2.338
Promedio	279.40	281.73	161.93	2.33225

Calculo para el diseño

Pb	7.50	% Cemento Asfáltico
Ps	92.50	% Agregados
Pmm	100.00	Total

$$Gmm = \left(\frac{W_{muestra}}{W_{rec} + W_{muestra} - W_{rec+agua+M.D.V.P}} \right) = 2.430$$

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}} = 2.73 \quad VMA = 100 - \left(Gmb * \frac{Ps}{Gsb} \right) = 10.63 \%$$

$$Gmb = \left(\frac{W1}{W2 - W3} \right) = 2.33222 \quad VFA = 100 * \left(\frac{VMA - Va}{VMA} \right) = 62.18 \%$$

$$Pba = 100 * \frac{Gse - Gsb}{Gsb * Gse} * Gb = 4.97 \% \quad Estabilidad = 6.81 \text{ kgf}$$

$$Pbe = Pb - \left(Pba * \frac{Ps}{100} \right) = 2.91 \% \quad Flujo = 10.32 \text{ mm}$$

$$Va = 100 * \left(\frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) = 4.02 \%$$

Anexo N°18: Diseño de mezcla con 8.0% de cemento asfáltico

% Asfalto	8.0%
-----------	------

Gravedad específica teórica máxima AASHTO T-209 (Gmm)						
N°	A	B	C	D=C-A	E	D/(B+D-E)
	Peso del recipiente	Peso del recipiente + agua	Peso del recipiente + muestra	Peso de la muestra	Peso del recipiente + agua + muestra después del vacío parcial	Gmm
1	2514	7725	4367	1853	8824	2.458

Estabilidad Marshall AASHTO T-245							
N° de probeta	D	H	Carga		lbf	KN	Flujo mm
	cm	cm	KN	kgf			
1	6.45	3.56	7.14	728.07	1605.14	7.14	11.35
2	6.43	3.63	6.42	654.65	1443.28	6.42	10.21
3	6.49	3.84	7.05	718.89	1584.91	7.05	10.62
Promedio	....	....	....	700.53	....	6.87	10.73

Gravedad específica de la mezcla AASHTO T-166 (Gmb)				
N° de probeta	Peso neto seco de la probeta (g) W1	Peso saturado de la probeta (g) W2	Peso neto sumergido de la probeta (g) W3	Gmb
1	271.5	277.9	163.2	2.367
2	275.5	282.4	165.4	2.355
3	272.5	278.7	163.7	2.370
Promedio	273.17	279.67	164.10	2.36377

Calculo para el diseño

Pb	8.00	% Cemento Asfáltico
Ps	92.00	% Agregados
Pmm	100.00	Total

$$Gmm = \left(\frac{W_{muestra}}{W_{rec} + W_{muestra} - W_{rec+agua+M.D.V.P.}} \right) = 2.458$$

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}} = 2.80 \quad VMA = 100 - \left(Gmb * \frac{Ps}{Gsb} \right) = 9.91 \%$$

$$Gmb = \left(\frac{W1}{W2 - W3} \right) = 2.36372 \quad VFA = 100 * \left(\frac{VMA - Va}{VMA} \right) = 61.48 \%$$

$$Pba = 100 * \frac{Gse - Gsb}{Gsb * Gse} * Gb = 5.82 \% \quad Estabilidad = 6.87 \text{ kgf}$$

$$Pbe = Pb - \left(Pba * \frac{Ps}{100} \right) = 2.64 \% \quad Flujo = 10.73 \text{ mm}$$

$$Va = 100 * \left(\frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) = 3.82 \%$$

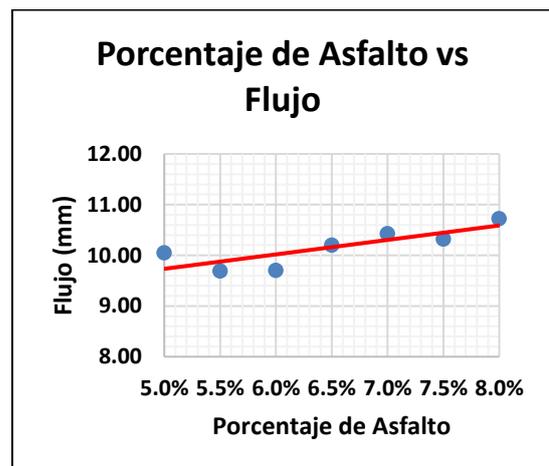
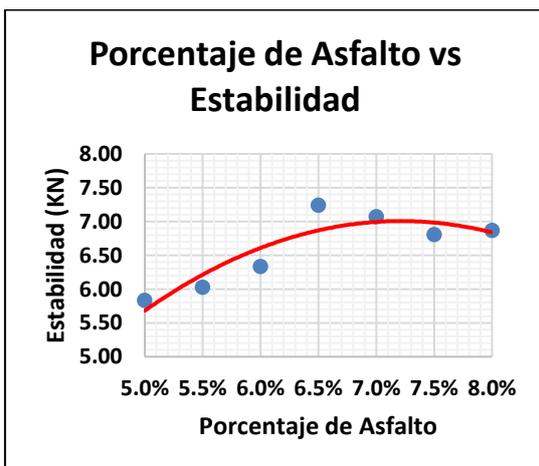
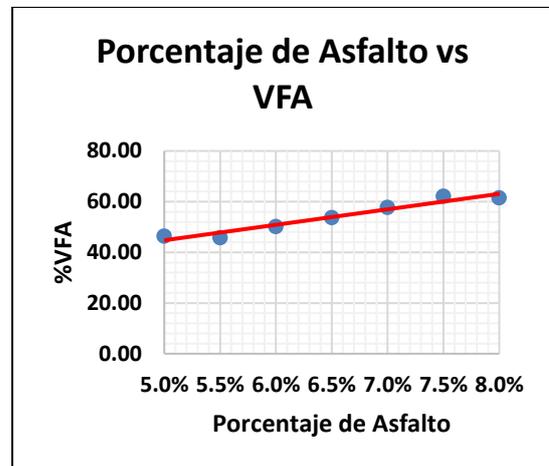
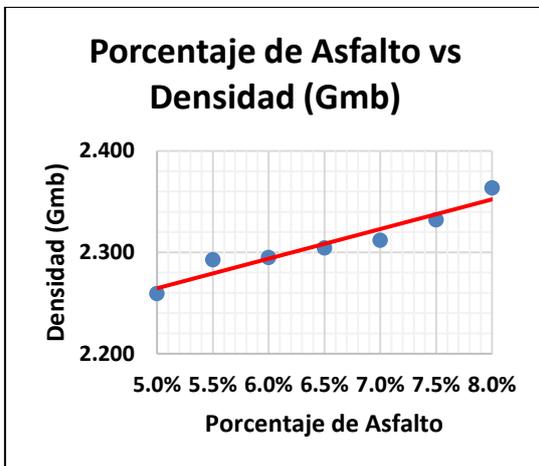
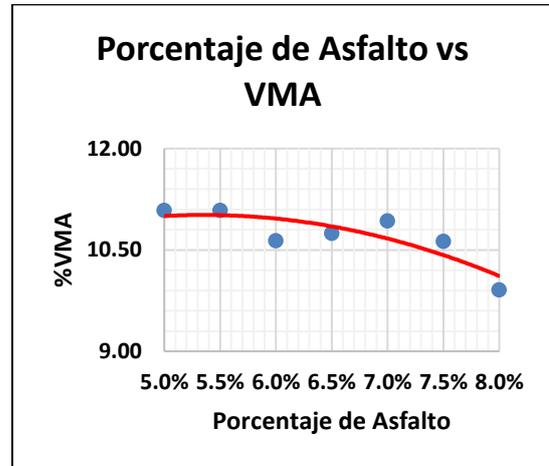
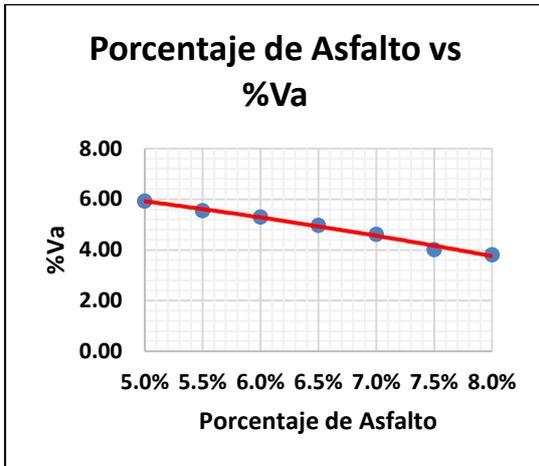
Anexo N°19: Cuadros de resultados obtenidos

Porcentaje de asfalto (Pb)	Gravedad Específica neta del agregado (Gsb)	Gravedad específica efectiva (Gse)	Gravedad teórica máxima de la mezcla (Gmm)	Densidad (Gmb)	Vacíos (Va) (%)
5.0%	2.414	2.58	2.402	2.259	5.94
5.5%		2.64	2.428	2.293	5.55
6.0%		2.65	2.423	2.295	5.30
6.5%		2.68	2.425	2.304	4.98
7.0%		2.70	2.424	2.312	4.62
7.5%		2.73	2.430	2.332	4.02
8.0%		2.80	2.458	2.364	3.82

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de laboratorio.

Porcentaje de asfalto (Pb)	VMA (%)	Vacíos llenados con asfalto (VFA) (%)	Porcentaje de asfalto absorbido (Pba) (%)	Contenido de asfalto efectivo (Pbe) (%)	Flujo (0.25 mm)	Estabilidad (KN)
Pb	VMA (%)	VFA (%)	Pba (%)	Pbe (%)	Flujo	Estabilidad
5.0%	11.09	46.43	2.804	2.336	10.05	5.83
5.5%	11.09	45.78	3.602	2.096	9.69	6.03
6.0%	10.64	50.14	3.848	2.383	9.71	6.34
6.5%	10.75	53.70	4.205	2.568	10.20	7.24
7.0%	10.93	57.76	4.516	2.800	10.43	7.07
7.5%	10.63	62.18	4.967	2.906	10.32	6.81
8.0%	9.91	61.48	5.823	2.643	10.73	6.87

Anexo N°20: Gráficos para mezcla convencional de 5.0 %, 5.5%, 6.0%, 7.0%, 7.5% - 8.0 %.



Anexo N°21: Cálculos para diseño mezcla modificada con caucho con 60% arena, 40% piedra y 6.0% cemento asfáltico (porcentaje óptimo de C.A.)

AGREGADO GRUESO					
DESCRIPCIÓN		MUESTRAS			Promedio
		M-1	M-2	M-3	
A	Peso de la muestra SSS (W _{sss})	1017.53	1031.00	1025.15	1024.56
B	Peso de bandeja	86.00	86.00	86.00	86.00
C	Peso de la muestra SSS en el agua	697.93	692.98	699.42	696.78
D	Peso de la muestra secada en el horno	1009.23	1006.56	1001.13	1005.64
E	Peso del materia sumergido: C-B	611.93	606.98	613.42	610.78
F	Volumen: A-E	405.60	424.02	411.73	413.78
G	Gravedad específica bulk S.S.S: A/F	2.51	2.43	2.49	2.48
H	Gravedad específica bulk Seca: D/F (G _m)	2.49	2.37	2.43	2.43
I	Gravedad específica Aparente: D/(F-(A-	2.54	2.52	2.58	2.55
J	% de Absorción: ((A-D)/D)*100 (A _b)	0.822	2.428	2.399	1.88

AGREGADO FINO					
DESCRIPCIÓN		MUESTRAS			Promedio
		M-1	M-2	M-3	
A	Peso de la muestra SSS (W _{sss})	457.9	457.9	457.9	457.90
B	Peso de la fiola + Agua	643	647	651	647.00
C	Peso de la fiola + Peso muestra SSS +	921.12	919.84	921.55	920.84
D	Peso de la muestra secada en el horno	440.18	439.11	440.25	439.85
E	Peso del materia sumergido: C-B	278.12	272.84	270.55	273.84
F	Volumen: A-E	179.78	185.06	187.35	184.06
G	Gravedad específica bulk S.S.S: A/F	2.55	2.47	2.44	2.49
H	Gravedad específica bulk Seca: D/F (G _m)	2.45	2.37	2.35	2.39
I	Gravedad específica Aparente: D/(F-(A-	2.72	2.64	2.59	2.65
J	% de Absorción: ((A-D)/D)*100 (A _b)	4.026	4.279	4.009	4.10

3. GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS

3.1. Agregado grueso

$$G_m = \left(\frac{W_s}{W_{sss} - W_{sum}} \right) \quad 2.430$$

$$G_s = \left(\frac{W_s}{W_s - W_{sum}} \right) \quad 2.547$$

$$G_{sss} = \left(\frac{W_{sss}}{W_{sss} - W_{sum}} \right) \quad 2.476$$

3.2. Agregado fino

$$G_m = \left(\frac{W_s}{W_{sss} - W_{sum}} \right) \quad 2.390$$

$$G_s = \left(\frac{W_s}{W_s - W_{sum}} \right) \quad 2.650$$

$$G_{sss} = \left(\frac{W_{sss}}{W_{sss} - W_{sum}} \right) \quad 2.488$$

4. DATOS GENERALES DE LA MEZCLA

4.1. Porcentaje de los agregados

P1	40.0	% (Agregado grueso)
P2	60.0	% (Agregado fino)

4.2. Gravedad específica del asfalto

G _b	1.0252
----------------	--------

4.3. Gravedad específica neta del agregado

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2}} \quad 2.406$$

Anexo N°22: Diseño de mezcla con 6.0% de cemento asfáltico y 0.5% caucho

% Asfalto	6.0%
% Partículas Caucho	0.5%

Gravedad específica teórica máxima AASHTO T-209 (Gmm)						
N°	A	B	C	D=C-A	E	D/(B+D-E)
	Peso del recipiente	Peso del recipiente + agua	Peso del recipiente + muestra	Peso de la muestra	Peso del recipiente + agua + muestra después del vacío parcial	Gmm
1	2514	7725	4079	1565	8654	2.461

Estabilidad Marshall AASHTO T-245							
N° de probeta	D	H	Carga		N	KN	Flujo
	cm	cm	KN	kgf				mm
1	6.52	3.01	9.85	1004.40	9850.00	9.85	7.65
2	6.53	3.13	9.75	994.21	9750.00	9.75	8.12
3	6.49	3.94	9.91	1010.52	9910.00	9.91	9.00
Promedio	....	....	....	....	....	9.84	8.26

Gravedad específica de la mezcla AASHTO T-166 (Gmb)				
N° de probeta	Peso neto seco de la probeta (g) W1	Peso saturado de la probeta (g) W2	Peso neto sumergido de la probeta (g) W3	Gmb
1	276.5	280.2	160.8	2.316
2	274.2	275.8	159.5	2.358
3	267.1	271.5	160.6	2.408
Promedio	272.60	275.8	160.30	2.361

Calculo para el diseño

Pb	6.00	% Cemento Asfáltico
Ps	94.00	% Agregados
Pmm	100.00	Total

$$Gmm = \left(\frac{W_{muestra}}{W_{rec} + W_{muestra} - W_{rec+agua+M.D.V.P}} \right) = 2.461$$

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}} = 2.70 \quad VMA = 100 - \left(Gmb * \frac{Ps}{Gsb} \right) = 7.81 \%$$

$$Gmb = \left(\frac{W1}{W2 - W3} \right) = 2.359 \quad VFA = 100 * \left(\frac{VMA - Va}{VMA} \right) = 47.33 \%$$

$$Pba = 100 * \frac{Gse - Gsb}{Gsb * Gse} * Gb = 4.67 \% \quad Estabilidad = 9.84 \text{ kgf}$$

$$Pbe = Pb - \left(Pba * \frac{Ps}{100} \right) = 1.61 \% \quad Flujo = 8.26$$

$$Va = 100 * \left(\frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) = 4.11 \%$$

Anexo N°23: Diseño de mezcla con 6.0% de cemento asfáltico y 1.0% caucho

% Asfalto	6.0%
% Partículas Caucho	1.0%

Gravedad específica teórica máxima AASHTO T-209 (Gmm)						
N°	A	B	C	D=C-A	E	D/(B+D-E)
	Peso del recipiente	Peso del recipiente + agua	Peso del recipiente + muestra	Peso de la muestra	Peso del recipiente + agua + muestra después del vacío parcial	Gmm
1	2514	7725	4079	1565	8654	2.461

Estabilidad Marshall AASHTO T-245							
N° de probeta	D	H	Carga		N	KN	Flujo mm
	cm	cm	KN	kgf			
1	6.45	3.70	10.85	1106.37	10850.00	10.85	8.61
2	6.47	3.42	10.94	1115.55	10940.00	10.94	7.85
3	6.49	3.19	10.82	1103.32	10820.00	10.82	9.70
Promedio	...	...	...	...	...	10.87	8.72

Gravedad específica de la mezcla AASHTO T-166 (Gmb)				
N° de probeta	Peso neto seco de la probeta (g) W1	Peso saturado de la probeta (g) W2	Peso neto sumergido de la probeta (g) W3	Gmb
1	274.8	276.2	158.3	2.331
2	274.2	275.5	159.5	2.364
3	275.1	276.7	162.3	2.405
Promedio	274.70	276.1	160.03	2.366

Calculo para el diseño

Pb	6.00	% Cemento Asfáltico
Ps	94.00	% Agregados
Pmm	100.00	Total

$$Gmm = \left(\frac{W_{muestra}}{W_{rec} + W_{muestra} - W_{rec+agua+M.D.V.P}} \right) = 2.461$$

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}} = 2.70 \quad VMA = 100 - \left(Gmb * \frac{Ps}{Gsb} \right) = 7.55 \%$$

$$Gmb = \left(\frac{W1}{W2 - W3} \right) = 2.366 \quad VFA = 100 * \left(\frac{VMA - Va}{VMA} \right) = 49.07 \%$$

$$Pba = 100 * \frac{Gse - Gsb}{Gsb * Gse} * Gb = 4.67 \% \quad Estabilidad = 10.87 \text{ kgf}$$

$$Pbe = Pb - \left(Pba * \frac{Ps}{100} \right) = 1.61 \% \quad Flujo = 8.72$$

$$Va = 100 * \left(\frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) = 3.85 \%$$

Anexo N°24: Diseño de mezcla con 6.0% de cemento asfáltico y 1.5% caucho

% Asfalto	6.0%
% Partículas Caucho	1.5%

Gravedad específica teórica máxima AASHTO T-209 (Gmm)						
N°	A	B	C	D=C-A	E	D/(B+D-E)
	Peso del recipiente	Peso del recipiente + agua	Peso del recipiente + muestra	Peso de la muestra	Peso del recipiente + agua + muestra después del vacío parcial	Gmm
1	2514	7725	4079	1565	8654	2.461

Estabilidad Marshall AASHTO T-245							
N° de probeta	D	H	Carga		N	KN	Flujo mm
	cm	cm	KN	kgf			
1	6.46	3.69	8.90	907.53	8900.00	8.90	10.12
2	6.48	3.47	9.50	968.72	9500.00	9.50	9.60
3	6.49	3.22	9.30	948.32	9300.00	9.30	9.74
Promedio	....	....	....	941.52	....	9.23	9.82

Gravedad específica de la mezcla AASHTO T-166 (Gmb)				
N° de probeta	Peso neto seco de la probeta (g) W1	Peso saturado de la probeta (g) W2	Peso neto sumergido de la probeta (g) W3	Gmb
1	274.8	275.2	160.8	2.402
2	276.2	277.8	161.5	2.375
3	274.1	276.5	159.6	2.345
Promedio	275.03	276.5	160.63	2.374

Calculo para el diseño

Pb	6.00	% Cemento Asfáltico
Ps	94.00	% Agregados
Pmm	100.00	Total

$$Gmm = \left(\frac{W_{muestra}}{W_{rec} + W_{muestra} - W_{rec+agua+M.D.V.P}} \right) = 2.461$$

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}} = 2.70 \quad VMA = 100 - \left(Gmb * \frac{Ps}{Gsb} \right) = 7.25 \%$$

$$Gmb = \left(\frac{W1}{W2 - W3} \right) = 2.374 \quad VFA = 100 * \left(\frac{VMA - Va}{VMA} \right) = 51.26 \%$$

$$Pba = 100 * \frac{Gse - Gsb}{Gsb * Gse} * Gb = 4.67 \% \quad Estabilidad = 9.23 \text{ kgf}$$

$$Pbe = Pb - \left(Pba * \frac{Ps}{100} \right) = 1.61 \% \quad Flujo = 9.82$$

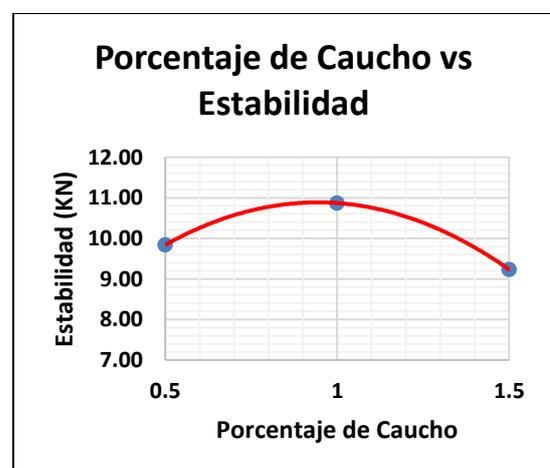
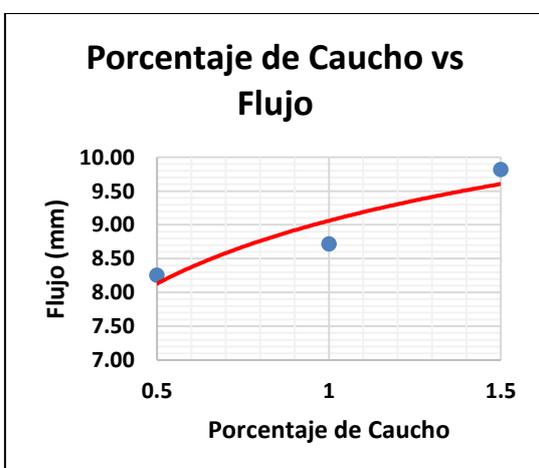
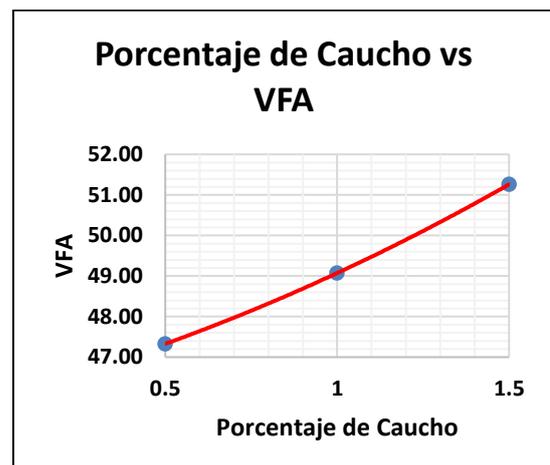
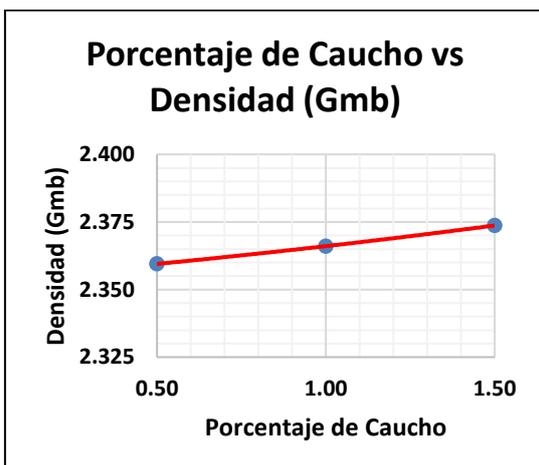
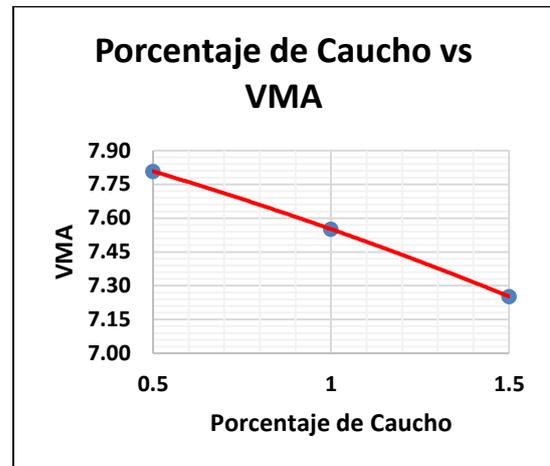
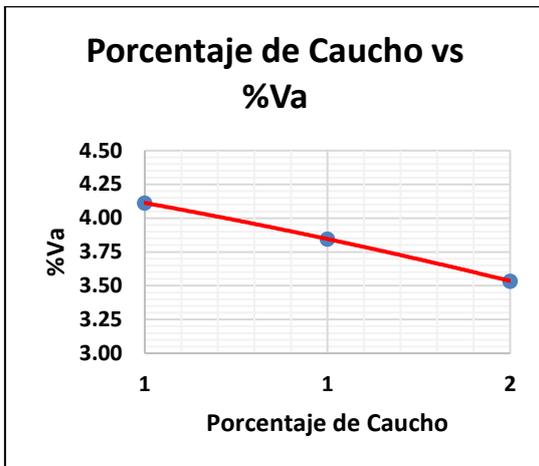
$$Va = 100 * \left(\frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) = 3.54 \%$$

Anexo N°25: Cuadros de resultados obtenidos

% de Caucho	Pb	Gravedad Específica neta del agregado (Gsb)	Gravedad específica efectiva (Gse)	Gravedad teórica máxima de la mezcla (Gmm)	Densidad (Gmb)	Vacíos (Va) (%)
0.50	6.0%	2.406	2.70	2.461	2.359	4.11
1.00	6.0%		2.70	2.461	2.366	3.85
1.50	6.0%		2.70	2.461	2.374	3.54

% de Caucho	Pb	VMA (%)	Vacíos llenados con asfalto (VFA) (%)	Porcentaje de asfalto absorbido (Pba) (%)	Contenido de asfalto efectivo (Pbe) (%)	Flujo (0.25 mm)	Estabilidad (KN)
0.5	6.0%	7.81	47.33	4.675	1.606	8.26	9.84
1.00	6.0%	7.55	49.07	4.675	1.606	8.72	10.87
1.50	6.0%	7.25	51.26	4.675	1.606	9.82	9.23

Anexo N°26: Gráficos con 6% de asfalto y 0.5%, 1.0% y 1.5% de caucho.



Anexo N°27: Análisis granulométrico por tamizado



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
ASTM C136

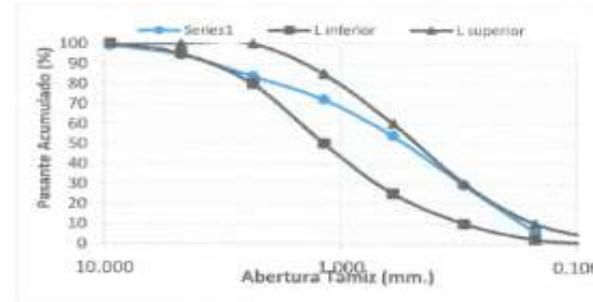
PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021

MUESTRA : AGREGADO FINO

SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL

UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

TAMIZ	ABERTURA A (mm.)	PESO TAMIZ (g.)	TAMIZ + MUESTRA (g.)	PESO RETENIDO O (g.)	PARCIAL RETENIDO (%)	ACUMULADO (%)	
						RETENIDO	PASANTE
3/8"	9.500	186.32	190.13	3.81	1	1	99
N°4	4.750	189.87	221.48	31.61	5	5	95
N°8	2.360	177.56	246.15	70.59	11	16	84
N°16	1.180	128.21	204.08	75.87	12	28	72
N°30	0.600	124.87	245.15	120.48	18	46	54
N°50	0.300	123.66	284.00	160.34	24	70	30
N°100	0.150	115.14	288.45	153.31	23	94	6
N°200	0.075	247.01	284.45	37.44	6	100	0
FONDO		218.84	221.75	2.91	0	100	0
PESO TOTAL				656.36		100	
M. FINURA						2.80	



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

Anexo N°28: Peso específico y absorción de agregados



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO
ASTM C128

PROYECTO : 1 INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021

MUESTRA : 1 AGREGADO FINO

SOLICITANTE : 2 BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRÍGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL

UBICACIÓN : 1 TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DEL 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	159.39	159.39	159.39
B = Peso de la fiola + Agua	g	657	657	657
Peso de la fiola + Peso muestra S55	g	617.29	617.29	617.29
C = Peso de la fiola + Peso muestra S55 + Agua	g	919.12	919.12	919.12
Peso del agua [3-4]	g	301.83	301.83	301.83
Peso de recipiente	g	114.38	114.38	114.38
Recipiente + Muestra seca	g	546.31	546.31	546.31
A = Peso de la muestra secada al horno	g	431.25	431.11	431.93
S = Peso de la muestra S55 (4-2)	g	457.9	457.9	457.9
Peso específico de masa S55	kg/m ³	2339	2339	2339
Peso específico aparente	kg/m ³	2550	2542	2544
Peso específico de masa	kg/m ³	2203	2207	2206
Promedio peso específico de masa	kg/m ³	2205		
Peso específico de masa:	2205	kg/m ³		

ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO				
DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRA		
		M-1	M-2	M-3
Peso de la muestra S55 (4-2)	g	458.41	459.71	457.9
Peso de la muestra secada al horno	g	442.15	441.87	440.87
Porcentaje de absorción (%)	%	3.7	4.0	3.9
Promedio	%	3.9		
Absorción:	3.9	%		



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

Anexo N°29: Peso unitario de agregado fino



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

PESO UNITARIO DE AGREGADO FINO
ASTM C29

PROYECTO	:	INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA	:	AGREGADO FINO
SOLICITANTE	:	BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN	:	TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

PESO UNITARIO SECO SUELTO				
DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRAS		
		M-1	M-2	M-3
Peso de molde	kg	1.202	1.202	1.202
Altura del molde	m	0.15	0.15	0.15
Diámetro del molde	m	0.3	0.3	0.3
Radio del molde	m	0.15	0.15	0.15
Volumen del molde	m ³	0.01060	0.01060	0.01060
Peso de molde + Muestra	kg	19.272	19.443	19.323
Peso Unitario Suelto (P.U.S.)	kg/m ³	1714	1720	1709
Promedio	kg/m ³	1714		
Peso Unitario Suelto (P.U.S.)	kg/m ³	1714		

PESO UNITARIO SECO COMPACTADO				
DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRAS		
		M-1	M-2	M-3
Peso de molde	kg	1.202	1.202	1.202
Altura del molde	m	0.15	0.15	0.15
Diámetro del molde	m	0.3	0.3	0.3
Radio del molde	m	0.15	0.15	0.15
Volumen del molde	m ³	0.01060	0.01060	0.01060
Peso de molde + Muestra	kg	21.276	21.35	21.291
Peso Unitario Compactado (P.U.C.)	kg/m ³	1893	1900	1896
Promedio	kg/m ³	1896		
Peso Unitario Compactado (P.U.C.)	kg/m ³	1896		

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



Anexo N°30: Humedad natural de agregado fino



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

HUMEDAD NATURAL DE AGREGADO FINO
ASTM C566

PROYECTO	:	INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA	:	AGREGADO FINO
SOLICITANTE	:	BURGOS ALVAREZ, ELMER RAÚL RODRÍGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN	:	TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO				
DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRAS		
		M-1	M-2	M-3
Peso de tara	g	70.45	72.74	74.15
Peso de la muestra natural	g	142.98	140.67	139.26
Peso de muestra seca + Tara	g	211.94	211.87	211.64
Contenido de humedad	%	1.0	1.1	1.3
Promedio	%	1.1		



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

Anexo N°31: Desgaste abrasivo de los ángeles



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

DESGASTE ABRASIVO DE LOS ANGELES
ASTM C 131

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA : AGREGADO GRUESO
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

PRUEBAS	T
GRADACIÓN USADA	C
Nº. ESFERAS	8
Nº. REVOLUCIONES	500
P _A = PESO MUESTRA ANTES DEL ENSAYO (G.M.S.)	5,000
P _B = PESO MUESTRA DESPUÉS DEL ENSAYO + DESPUÉS DE LA GRADACIÓN FINAL (G)	3,847
P _A - P _B = PÉRDIDA	1,053
% DESGASTE = $\frac{P_A - P_B}{P_A} \times 100$	21.1%
ESPECIFICACIÓN - MENOR DE	40%

CUMPLE NO

TAMANOSES Y GRADACIÓN DE LA MUESTRA, G.M.S.

PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2000		
2 1/2"	2"					2000		
2"	1 1/2"					6000	6000	6000
1 1/2"	1"	5000					5000	5000
1"	3/4"	5000						5000
3/4"	5/8"	5000	2000					
5/8"	3/4"	5000	2000					
3/4"	3/8"			2000				
3/8"	5/16"			2000				
5/16"	3/16"			5000				
Nº. DE ESFERAS		12	11	8	6	12	12	12
Nº. DE REVOLUCIONES		500	500	500	500	1000	1000	1000



Jorge Alejandro Barrientos Vilanova
ING. DE MATERIALES
R. O.P. N° 197384

Anexo N°32: Humedad natural de agregado grueso



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

HUMEDAD NATURAL DE AGREGADO GRUESO
ASTM C566

PROYECTO	:	INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA	:	AGREGADO GRUESO
SOLICITANTE	:	BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN	:	TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO				
DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRAS		
		M-1	M-2	M-3
Peso de tara	g	65.56	70.54	78.00
Peso de la muestra natural	g	197.24	192.26	194.00
Peso de muestra seca + Tara	g	260.19	260.14	270.04
Contenido de humedad	%	1.3	1.4	1.0
Promedio	%	1.3		



Jm
Jorge Alejandro Borranes Vilanueva
ING. DE MATERIALES
R. CE N° 197384

Anexo N°33: Peso unitario de agregado grueso



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

PESO UNITARIO DE AGREGADO GRUESO
ASTM C29

PROYECTO	:	INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA	:	AGREGADO GRUESO
SOLICITANTE	:	BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL RODRÍGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN	:	TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

PESO UNITARIO SECO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO				
DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRAS		
		M-1	M-2	M-3
Peso de molde	kg	1.202	1.202	1.202
Altura del molde	m	0.15	0.15	0.15
Diámetro del molde	m	0.3	0.3	0.3
Radio del molde	m	0.15	0.15	0.15
Volumen del molde	m ³	0.01060	0.01060	0.01060
Peso de molde + Muestra	kg	17.846	17.793	17.849
Peso Unitario Suelto (P.U.S.)	kg/m ³	1570	1565	1570
Promedio	kg/m ³	1568		

PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO				
DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRAS		
		M-1	M-2	M-3
Peso de molde	kg	1.202	1.202	1.202
Altura del molde	m	0.15	0.15	0.15
Diámetro del molde	m	0.3	0.3	0.3
Radio del molde	m	0.15	0.15	0.15
Volumen del molde	m ³	0.01060	0.01060	0.01060
Peso de molde + Muestra	kg	19.61	19.586	19.614
Peso Unitario Compactado (P.U.C.)	kg/m ³	1736	1734	1737
Promedio	kg/m ³	1736		



Jorge Alejandro Barrios Wilancueni
ING. DE MATERIALES
R. CIP N° 197384

Anexo N°34: Peso específico y absorción del agregado grueso



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO
ASTM C127

PROYECTO	1	INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRIA	1	AGREGADO GRUESO
SOLICITANTE	1	BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL RODRÍGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN	1	TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO				
DESCRIPCIÓN	UNO	MUESTRAS		
		M-1	M-2	M-3
B = Peso de la muestra SSS	g	416.28	418.04	420.01
C = Peso de la muestra SSS en el agua	g	262.00	263.47	294.23
Peso de bandeja	g	86.00	86.00	86.00
Peso de bandeja + Muestra seca	g	325.94	300.10	300.61
A = Peso de la muestra secada en el horno	g	411.94	411.94	411.94
Peso específico de masa SSS	kg/m ³	2698.23	2704.54	3338.71
Peso específico aparente	kg/m ³	5097.59	3357.67	3416.49
Peso específico de masa	kg/m ³	2670	2665	3275
Promedio del peso específico de masa	kg/m ³	2870		

DESCRIPCIÓN	UNO	MUESTRA		
		M-1	M-2	M-3
B = Peso de la muestra SSS	kg	407.26	418.04	386.35
A = Peso de la muestra secada en el horno	kg	402.75	411.94	382.24
Porcentaje de absorción (%)	%	1.1	1.5	0.9
Promedio	%	1.2		


 Jorge Alejandro Barrantes Vilanueva
 ING. DE MATERIALES
 R. QIP N° 197384



Anexo N°35: Humedad natural de agregado grueso



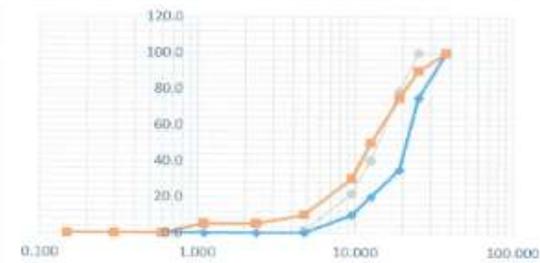
UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
ASTM C136

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA : AGREGADO GRUESO
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO TAMIZ (g)	TAMIZ = MUESTRA (g)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	ACUMULADO (%)			
						RETENIDO	PASANTE	L. Inferior	L. Superior
1.18"	37.500	205.4	205.40	0.00	0.00	0.0	100.0	100	100
1"	25.000	175.05	175.05	0.00	0.00	0.0	100.0	75	50
3/4"	19.000	171.01	451	270.99	21.20	21.3	78.7	35	75
1/2"	12.500	204.83	712.41	507.58	18.51	58.8	40.2	20	50
3/8"	9.500	186.32	432.00	245.70	18.88	78.4	21.6	10	30
Nº4	4.750	188.87	438.88	258.73	20.40	88.8	1.2	0	10
Nº6	2.500	177.56	100.88	13.42	1.02	99.8	0.2	0	5
Nº10	1.190	129.21	128.21	0.00	0.00	99.8	0.2	0	5
Nº20	0.850	124.87	124.87	0.00	0.00	99.8	0.2	0	5
Nº40	0.297	123.68	123.68	0.00	0.00	99.8	0.2	0	5
Nº100	0.148	115.14	115.14	0.00	0.00	99.8	0.2	0	5
Nº200	0.075	247.01	248.07	1.06	0.08	99.8	0.1		
FONDO	Fondo	218.84	218.77	0.83	0.37	100.0	0.0		



Jm
Jorge Alejandro Barrantes Vilanueva
ING. DE MATERIALES
R. G. N° 197384



Anexo N°36: Ensayo de absorción



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

**ENSAYO DE ABSORCIÓN
NORMA MTC E-506**

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 8.0% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	PESO SECO (gramos)	PESO SATURADO (gramos)	ABSORCIÓN (%)	PROMEDIO
1	251.08	253.14	0.82	0.74
2	249.39	251.51	0.85	
3	257.46	258.88	0.55	



Jorge Alejandro Barrantes Vianúez
ING. DE MATERIALES
R. GIP. N° 197384

Anexo N°37: Ensayo de absorción



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

ENSAYO DE ABSORCIÓN
NORMA MTC E-506

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 7.5% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
 RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	PESO SECO (gramos)	PESO SATURADO (gramos)	ABSORCIÓN (%)	PROMEDIO
1	248.83	252.52	1.48	0.86
2	247.07	248.4	0.54	
3	261.36	262.84	0.57	



Jorge Alejandro Barrientos Villanueva
ING. DE MATERIALS
R. CIP N° 197384

Anexo N°38: Ensayo de absorción



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

**ENSAYO DE ABSORCIÓN
NORMA MTC E-506**

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECIKLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 7.0% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	PESO SECO (gramos)	PESO SATURADO (gramos)	ABSORCIÓN (%)	PROMEDIO
1	233.67	235.57	0.81	0.81
2	255.72	257.58	0.73	
3	221.75	223.75	0.90	



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

Anexo N°39: Ensayo de absorción



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

ENSAYO DE ABSORCIÓN
NORMA MTC E-506

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECIKLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 6.5% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	PESO SECO (gramos)	PESO SATURADO (gramos)	ABSORCIÓN (%)	PROMEDIO
1	238.73	240.48	0.73	0.73
2	240.78	242.26	0.61	
3	200.36	202.05	0.84	



Juan Alejandro Bustos Villanueva
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 197384

Anexo N°40: Ensayo de absorción



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Carbinicos y Suelos

ENSAYO DE ABSORCIÓN
NORMA MTC E-506

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 6.0% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRÁ, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	PESO SECO (gramos)	PESO SATURADO (gramos)	ABSORCIÓN (%)	PROMEDIO
1	245.67	247.98	0.94	0.89
2	240.46	242.44	0.82	
3	335.8	338.84	0.91	




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

Anexo N°41: Ensayo de absorción



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

ENSAYO DE ABSORCIÓN
NORMA MTC E-506

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 5.5% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	PESO SECO (gramos)	PESO SATURADO (gramos)	ABSORCIÓN (%)	PROMEDIO
1	240.32	242.52	0.92	0.77
2	263.45	264.42	0.37	
3	228.9	231.26	1.03	



Ing. Elmer Raúl Burgos Álvarez
ING. DE MATERIALES
R. C. P. N° 197384

Anexo N°42: Ensayo de absorción



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

ENSAYO DE ABSORCIÓN
NORMA MTC E-506

- PROYECTO** : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
- MUESTRA** : 40% GRAVA + 60% ARENA + 5.0% CEMENTO ASFÁLTICO
- SOLICITANTE** : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
- UBICACIÓN** : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	PESO SECO (gramos)	PESO SATURADO (gramos)	ABSORCIÓN (%)	PROMEDIO
1	269.32	270.82	0.56	0.80
2	270.42	273.05	0.97	
3	264.15	266.41	0.86	



Jorge Alejandro Barrientes Wazma
ING. DE MATERIALES
R. OIP N° 197384

Anexo N°43: Ensayo de absorción



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

**ENSAYO DE ABSORCIÓN
NORMA MTC E-506**

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 60% GRAVA + 40% ARENA + 8.0% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	PESO SECO (gramos)	PESO SATURADO (gramos)	ABSORCIÓN (%)	PROMEDIO
1	249.46	250.84	0.55	0.67
2	269.12	271.13	0.75	
3	300.16	302.28	0.71	



Jorge Alejandro Barrera Manríquez
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 197384

Anexo N°44: Ensayo de absorción



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

**ENSAYO DE ABSORCIÓN
NORMA MTC E-506**

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 60% GRAVA + 40% ARENA + 7.5% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	PESO SECO (gramos)	PESO SATURADO (gramos)	ABSORCIÓN (%)	PROMEDIO
1	273.42	275.16	0.64	0.52
2	281.47	282.27	0.28	
3	317.13	319.18	0.65	

Jorge Alejandro Barrios Viganza
ING. DE MATERIALES
CIP N° 197384

Anexo N°45: Ensayo de absorción



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Cerámicas y Suelos

ENSAYO DE ABSORCIÓN
NORMA MTC E-506

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021

MUESTRA : 60% GRAVA + 40% ARENA + 7.0% CEMENTO ASFÁLTICO

SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL

UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	PESO SECO (gramos)	PESO SATURADO (gramos)	ABSORCIÓN (%)	PROMEDIO
1	244.94	245.49	0.22	0.60
2	274.18	275.37	0.43	
3	230.07	232.59	1.14	



Jorge Alejandro Barramos Vianori
ING. DE MATERIALES
RUCP N° 197384

Anexo N°46: Ensayo de absorción



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

ENSAYO DE ABSORCIÓN
NORMA MTC E-506

- PROYECTO** : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECIKLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
- MUESTRA** : 60% GRAVA + 40% ARENA + 6.5% CEMENTO ASFÁLTICO
- SOLICITANTE** : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
- UBICACIÓN** : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	PESO SECO (gramos)	PESO SATURADO (gramos)	ABSORCIÓN (%)	PROMEDIO
1	287.31	288.57	0.44	0.95
2	260.31	262.39	0.80	
3	227.03	230.72	1.63	


Jorge Alejandro Barrios Vilanue
ING. DE MATERIALES
R. C. N° 197384

Anexo N°47: Ensayo de absorción



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

ENSAYO DE ABSORCIÓN
NORMA MTC E-506

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 60% GRAVA + 40% ARENA + 5.0% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
 RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	PESO SECO (gramos)	PESO SATURADO (gramos)	ABSORCIÓN (%)	PROMEDIO
1	224.45	226.21	0.78	0.84
2	240.26	242.45	0.91	
3	254.66	256.76	0.82	



Jorge Alejandro Bustamante Vilchez
ING. DE MATERIALES
R. C. P. N° 197384

Anexo N°48: Ensayo de absorción



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

**ENSAYO DE ABSORCIÓN
NORMA MTC E-506**

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 60% GRAVA + 40% ARENA + 5.5% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	PESO SECO (gramos)	PESO SATURADO (gramos)	ABSORCIÓN (%)	PROMEDIO
1	286.37	288.74	0.83	0.81
2	230.63	232.16	0.66	
3	236.07	238.29	0.94	



Jorge Alejandro Barrientos Vilanova
ING. DE MATERIALES
C. CIP. N° 197384

Anexo N°49: Ensayo de absorción



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

ENSAYO DE ABSORCIÓN
NORMA MTC E-506

- PROYECTO** : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
- MUESTRA** : 60% GRAVA + 40% ARENA + 5.0% CEMENTO ASFÁLTICO
- SOLICITANTE** : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
- UBICACIÓN** : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	PESO SECO (gramos)	PESO SATURADO (gramos)	ABSORCIÓN (%)	PROMEDIO
1	245.96	247.17	0.49	0.72
2	278.97	279.29	0.11	
3	264.38	268.49	1.55	



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

Anexo N°50: Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas y densidad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

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

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
 MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 6.0% CEMENTO ASFÁLTICO + 5.0% CAUCHO
 SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
 RODRÍGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
 UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	274.8	276.2	274.1
Masa del espécimen + parafina (g)	280.2	282.8	281.5
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	155.3	157.5	158.6
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.940	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.305	2.332	2.380
GS aparente promedio	2.339		

Peso específico teórico

Peso del picnómetro (g)	2514
Peso del picnómetro + mezcla asfáltica (g)	4079
Peso de la mezcla (g)	1565
Temperatura de la muestra (°C)	22
Peso del picnómetro con mezcla afundida (g)	8654
Peso del picnómetro calibrado a la T° de prueba (g)	7725
GS teórico máximo	2.461

Porcentaje de vacío de aire (%)	4.930
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.332



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

Anexo N°51: Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas y densidad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

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

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECIKLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
 MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 6.0% CEMENTO ASFÁLTICO + 5.0% CAUCHO
 SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
 RODRÍGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
 UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	272.8	274.2	278.1
Masa del espécimen + parafina (g)	280.2	278.8	279.5
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	156.3	157.5	158.6
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.940	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.350	2.354	2.354
GS aparente promedio	2.352		

Peso específico teórico

Peso del picnómetro (g)	2514
Peso del picnómetro + mezcla asfáltica (g)	4079
Peso de la mezcla (g)	1565
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	2.461

Porcentaje de vacío de aire (%)	4.399
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.345



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

Anexo N°52: Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas y densidad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicas y Suelos

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

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 5.0% CEMENTO ASFÁLTICO + 5.0% CAUCHO
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	276.5	274.2	267.1
Masa del espécimen + parafina (g)	282.2	279.8	275.5
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	152.0	158.5	160.6
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.940	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.228	2.175	2.517
GS aparente promedio	2.373		

Peso específico teórico

Peso del picnómetro (g)	2514
Peso del picnómetro + mezcla asfáltica (g)	4079
Peso de la mezcla (g)	1565
Temperatura de la prueba (°C)	22
Peso del picnómetro con mezcla aforsado (g)	8654
Peso del picnómetro calibrado a la T° de prueba (g)	7725
GS teórico máximo	2.461

Porcentaje de vacío de aire (%)	3.553
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.366



Jorge Alejandro Barrios Vilazosa
ING. DE MATERIALES
R. CIP. N° 197384

Anexo N°53: Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas y densidad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicas y Suelos

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

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
 MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 6.0% CEMENTO ASFÁLTICO
 SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
 RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
 UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Massa del espécimen seco (g)	249.2	239.2	335.1
Massa del espécimen + parafina (g)	252.5	249.1	343.5
Massa del espécimen + parafina suspendido (g)	158.4	158.4	125.2
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.251	2.976	1.598
GS aparente promedio	2.275		

Peso específico teórico

Peso del picnómetro (g)	2518
Peso del picnómetro + mezcla asfáltica (g)	4142
Peso de la mezcla (g)	1628
Temperatura de la prueba (°C)	22
Peso del picnómetro con mezcla ahogado (g)	8664
Peso del picnómetro calibrado a la T° de prueba (g)	7725
GS teórico máximo	2.363

Porcentaje de vacío de aire (%)	3.699
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.269



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

Anexo N°54: Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas y densidad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicas y Suelos

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

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
 MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 5.5% CEMENTO ASFÁLTICO
 SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
 RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
 UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	243.2	264.5	231.2
Masa del espécimen + parafina (g)	247.2	269.4	231.9
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	140.4	140.4	131.6
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.371	2.136	2.323
GS aparente promedio	2.276		

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 aferrado (g)	8657
Peso del picnómetro calibrado a la T° de prueba (g)	7725
GS teórico máximo	2.349

Porcentaje de vacío de aire (%)	3.078
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.270



Jorge Alejandro Barraltes Vilanueva
ING. DE MATERIALES
R. O. P. N° 197384

Anexo N°55: Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas y densidad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

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

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 6.5% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	238.7	240.8	200.4
Masa del espécimen + parafina (g)	243.2	248.1	212.2
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	138.2	132.1	115.4
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.403	2.221	2.373
GS aparente promedio	2.332		

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)	72
Peso del picnómetro con mezcla aflojado (g)	8694
Peso del picnómetro calibrado a la T° de prueba (g)	7725
GS teórico máximo	2.433

Porcentaje de vacío de aire (V)	4.159
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.325



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

Anexo N°56: Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas y densidad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

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

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 8.0% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRÍGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	243.5	240.5	255.0
Masa del espécimen + parafina (g)	258.3	258.9	272.5
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	144.5	133.6	139.7
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.475	2.367	2.325
G _S aparente promedio	2.322		

Peso específico teórico

Peso del picnómetro (g)	2514
Peso del picnómetro + mezcla asfáltica (g)	4220
Peso de la mezcla (g)	1706
Temperatura de la prueba (°C)	22
Peso del picnómetro con mezcla aforado (g)	8724
Peso del picnómetro calibrado a la T° de prueba (g)	7725
G _S teórico máximo	2.413

Porcentaje de vacío de aire (%)	3.759
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.325



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

Anexo N°57: Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas y densidad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Cerámicas y Suelos

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

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 7,5% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE: BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRÍGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	244.4	241.2	256.1
Masa del espécimen + parafina (g)	259.5	258.4	271.0
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	142.4	134.2	130.5
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.411	2.370	2.189
GS aparente promedio	2.290		

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 aforada (g)	8711
Peso del picnómetro calibrado a la T° de prueba (g)	7725
GS teórica máximo	2.409

Porcentaje de vacío de aire (%)	4.913
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.283



Jorge Alejandro Barrios Villanueva
ING. DE MATERIALES
R. OUP N° 197384

Anexo N°58: Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas y densidad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicas y Suelos

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

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 5.0% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRÍGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	269.3	270.4	264.2
Masa del espécimen + parafina (g)	275.5	279.4	270.1
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	151.3	151.6	140.3
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.287	2.322	2.137
GS aparente promedio	2.248		

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 alforado (g)	8641
Peso del picnómetro calibrado a la T° de prueba (g)	7725
GS teórico máximo	3.318

Porcentaje de vacío de aire (%)	3.002
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.242



Jorge Alejandro Barraltes Villanueva
ING. DE MATERIALES
R. C. N° 197384

Anexo N°59: Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas y densidad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicas y Suelos

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

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
 MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 7.0% CEMENTO ASFÁLTICO
 SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
 RODRÍGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
 UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	235.1	257.4	225.4
Masa del espécimen + parafina (g)	244.8	263.9	232.5
Masa del espécimen + parafina suspendida (g)	148.0	128.6	124.3
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.711	2.003	2.236
GS aparente promedio	2.317		

Peso específico teórico

Peso del picnómetro (g)	2514
Peso del picnómetro + mezcla asfáltica (g)	4178
Peso de la mezcla (g)	1664
Temperatura de la muestra (°C)	22
Peso del picnómetro con mezcla aforado (g)	8608
Peso del picnómetro calibrado a la T° de prueba (g)	7725
GS teórico máximo	2.408

Porcentaje de vacío de aire (%)	3.795
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.310

Jorge Alejandro Barantes Vilarro
 Jorge Alejandro Barantes Vilarro
 ING. DE MATERIALES
 R.C.I.P. N° 197384



Anexo N°60: Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas y densidad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

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

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
 MUESTRA : 60% GRAVA + 40% ARENA + 6.0% CEMENTO ASFÁLTICO
 SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
 RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
 UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	224.5	240.3	234.7
Masa del espécimen + parafina (g)	231.5	249.5	260.5
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	140.4	129.1	134.8
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.678	2.368	2.129
GS aparente promedio	2.325		

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 (%)	4.050
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.218

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



Anexo N°61: Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas y densidad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

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

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 60% GRAVA + 40% ARENA + 5.5% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	288.5	233.7	238.7
Masa del espécimen + parafina (g)	292.5	238.6	241.6
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	154.5	140.3	137.2
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.156	2.508	2.354
GS aparente promedio	2.339		

Peso específico teórico

Peso del picnómetro (g)	2514
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 (%)	3.439
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.332



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

Anexo N°62: Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas y densidad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicas y Suelos

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

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 80% GRAVA + 40% ARENA + 6.5% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRÍGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	287.3	260.3	227.0
Masa del espécimen + parafina (g)	294.2	269.4	235.2
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	152.3	141.1	141.8
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.132	2.190	2.673
GS aparente promedio	2.332		

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 (%)	3.838
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.325



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

Anexo N°63: Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas y densidad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Cerámicos y Rutas

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

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
 MUESTRA : 60% GRAVA + 40% ARENA + 5.0% CEMENTO ASFÁLTICO
 SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
 RODRÍGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
 UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	248.6	277.6	259.4
Masa del espécimen + parafina (g)	256.4	288.3	268.1
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	147.9	146.5	148.3
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.475	2.324	2.342
GS aparente promedio	2.314		

Peso específico teórico

Peso del picnómetro (g)	251.4
Peso del picnómetro + mezcla asfáltica (g)	428.9
Peso de la mezcla (g)	177.5
Temperatura de la prueba (°C)	22
Peso del picnómetro con mezcla aforado (g)	876.1
Peso del picnómetro calibrado a la T° de prueba (g)	772.5
GS teórico máximo	2.402

Porcentaje de vacío de aire (%)	3.656
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.307



Jorge Alejandro Barrios Vinueza
ING. DE MATERIALES
R/CIP N° 197384

Anexo N°64: Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas y densidad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

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

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 60% GRAVA + 40% ARENA + 8.0% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	288.5	275.5	312.5
Masa del espécimen + parafina (g)	275.9	283.7	323.7
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	160.8	154.6	176.9
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.485	2.285	2.313
GS aparente promedio	2.361		

Peso específico teórica

Peso del picnómetro (g)	2514
Peso del picnómetro + mezcla asfáltica (g)	4367
Peso de la mezcla (g)	1853
Temperatura de la prueba (°C)	22
Peso del picnómetro con mezcla sforado (g)	8824
Peso del picnómetro calibrado a la T° de prueba (g)	7725
GS teórico máximo	2.458

Porcentaje de vacío de aire (%)	3.925
Densidad del agua a 35°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.354



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

Anexo N°65: Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas y densidad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

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

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 60% GRAVA + 40% ARENA + 7.5% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	272.1	279.4	314.7
Masa del espécimen + parafina (g)	278.7	285.8	322.7
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	160.3	155.0	175.4
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.439	2.250	2.265
GS aparente promedio	2.318		

Peso específico teórico

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

Porcentaje de vacío de aire (%)	4.594
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.311



Jorge Alejandro Esquivel Vilanueva
ING. DE MATERIALES
R. C. N° 197384

Anexo N°66: Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas y densidad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

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

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
 MUESTRA : 60% GRAVA + 40% ARENA + 7.0% CEMENTO ASFÁLTICO
 SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
 RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
 UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Peso específico aparente

	1	2	3
Masa del espécimen seco (g)	249.5	276.1	234.6
Masa del espécimen + parafina (g)	250.7	276.1	237.8
Masa del espécimen + parafina suspendido (g)	138.0	158.2	134.1
Gravedad específica de la parafina a 25°C (g/cm ³)	0.960	0.960	0.960
Gravedad específica aparente	2.239	2.344	2.336
GS aparente promedio	2.306		

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)	8730
Peso del picnómetro calibrado a la T° de prueba (g)	7725
GS teórico máximo	2.424

Porcentaje de vacío de aire (%)	4.848
Densidad del agua a 25°C (g/cm ³)	0.997
Densidad del espécimen (g/cm ³)	2.299



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

Anexo N°67: Ensayo de estabilidad método Marshall



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021

MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 6.0% CEMENTO ASFÁLTICO + 0.5% CAUCHO

SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL

UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA				DEFORMACIÓN
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf	kgf prom	mm
1	6.52	6.52	6.52	3.02	3.00	3.01	9.85	2214.38	1004.40	1003.04	7.65
2	6.52	6.53	6.53	3.12	3.13	3.13	9.75	2191.90	994.21		8.12
3	6.50	6.48	6.49	3.98	3.90	3.94	9.91	2227.87	1010.52		9.00



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

Anexo N°68: Ensayo de estabilidad método Marshall



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 6.0% CEMENTO ASFÁLTICO + 1.0% CAUCHO
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA				DEFORMACIÓN
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf	kgf prom	mm
1	6.44	6.46	6.45	3.68	3.71	3.70	10.85	2439.19	1106.37	1108.41	8.61
2	6.46	6.48	6.47	3.43	3.40	3.42	10.94	2459.42	1115.55		7.85
3	6.50	6.48	6.49	3.20	3.18	3.19	10.82	2432.44	1103.32		9.70



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

Anexo N°69: Ensayo de estabilidad método Marshall



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021

MUESTRA : 40% GRAVA + 60% ARENA + 6.0% CEMENTO ASFÁLTICO + 1.5% CAUCHO

SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL

UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA				DEFORMACIÓN mm
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf	kgf prom	
1	6.45	6.46	6.46	3.67	3.71	3.69	8.90	1989.57	902.43	905.83	10.12
2	6.47	6.48	6.48	3.48	3.45	3.47	9.50	2009.80	911.61		9.60
3	6.49	6.48	6.49	3.23	3.20	3.22	9.30	1991.82	903.45		9.74



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

Anexo N°70: Ensayo de estabilidad método Marshall



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Cerámicas y Suelos

ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
40% GRAVA + 60% ARENA + 8.0% CEMENTO

MUESTRA : ASFÁLTICO

SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL

UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA				DEFORMACIÓN
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf	kgf prom	mm
1	6.45	6.44	6.45	3.60	3.59	3.60	7.14	1605.14	728.07	734.52	10.35
2	6.43	6.42	6.43	3.64	3.62	3.63	7.42	1668.09	756.62		10.21
3	6.48	6.49	6.49	3.85	3.83	3.84	7.05	1584.91	718.89		10.61



Jorge Alejandro Barrios Wilanuev.
ING. DE MATERIALES
R/CIP N° 197384

Anexo N°71: Ensayo de estabilidad método Marshall



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA
EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
40% GRAVA + 60% ARENA + 7.5% CEMENTO
MUESTRA : ASFÁLTICO
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA			DEFORMACIÓN	
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf	kgf prom	mm
1	6.45	6.42	6.44	3.63	3.59	3.61	7.28	1636.62	742.34	759.34	10.40
2	6.45	6.42	6.44	3.62	3.62	3.62	7.42	1668.09	756.62		10.04
3	6.50	6.49	6.50	3.87	3.83	3.85	7.64	1717.55	779.05		10.73



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

Anexo N°72: Ensayo de estabilidad método Marshall



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Cerámicas y Suelos

ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA
EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
40% GRAVA + 60% ARENA + 7.0% CEMENTO
MUESTRA : ASFÁLTICO
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA				DEFORMACIÓN
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf	kgf prom	mm
1	6.50	6.45	6.48	3.47	3.47	3.47	7.07	1589.41	720.93	771.23	11.05
2	6.46	6.50	6.48	3.64	3.64	3.64	8.51	1913.13	867.76		9.89
3	6.46	6.48	6.47	3.34	3.35	3.35	7.11	1598.40	725.01		10.39



Jorge Alejandro Borranos Valanzuela
ING. DE MATERIALES
R. CIP. N° 197384

Anexo N°73: Ensayo de estabilidad método Marshall



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
40% GRAVA + 60% ARENA + 6.5% CEMENTO

MUESTRA : ASFÁLTICO

SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL

UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA				DEFORMACIÓN
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf	kgf prom	mm
1	6.43	6.55	6.49	3.61	3.54	3.58	7.35	1652.35	749.48	795.37	9.59
2	6.46	6.48	6.47	3.60	3.61	3.61	8.74	1964.84	891.22		11.34
3	6.41	6.51	6.46	3.06	3.00	3.03	7.31	1643.36	745.40		10.35



Jorge Alejandro Escamilla Vilaverde
ING. DE MATERIALES
R. C. P. N° 197384

Anexo N°74: Ensayo de estabilidad método Marshall



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
40% GRAVA + 60% ARENA + 6.0% CEMENTO ASFÁLTICO
MUESTRA :
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA				DEFORMACIÓN
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf	kgf prom	mm
1	6.45	6.50	6.48	3.55	3.54	3.55	8.90	2000.81	907.53	941.52	10.30
2	6.50	6.50	6.50	3.44	3.45	3.45	9.50	2135.70	968.72		10.60
3	6.48	6.50	6.49	4.70	4.80	4.75	9.30	2090.73	948.32		10.59



Jorge Alejandro Barrantes Vilacoma
ING. DE MATERIALES
RUP N° 197384

Anexo N°75: Ensayo de estabilidad método Marshall



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicas y Suelos

ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA
EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
40% GRAVA + 60% ARENA + 5.5% CEMENTO

MUESTRA : ASFÁLTICO

SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL

UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA				DEFORMACIÓN
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf	kgf prom	mm
1	6.50	6.48	6.49	3.66	3.60	3.63	6.96	1564.68	709.71	788.23	10.56
2	6.47	6.50	6.49	3.99	4.00	4.00	7.95	1787.24	810.66		10.21
3	6.50	6.52	6.51	3.41	3.43	3.42	8.28	1861.43	844.31		10.56



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

Anexo N°76: Ensayo de estabilidad método Marshall



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicas y Suelos

ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
40% GRAVA + 60% ARENA + 5.0% CEMENTO
MUESTRA : ASFÁLTICO
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA				DEFORMACIÓN mm
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf	kgf prom	
1	6.47	6.50	6.49	4.02	3.98	4.00	7.81	1755.77	796.39	758.66	8.36
2	6.50	6.48	6.49	4.06	4.05	4.06	7.39	1661.35	753.56		9.08
3	6.45	6.50	6.48	3.98	3.95	3.97	7.12	1600.65	726.03		8.65



Jorge Alejandro Barrantes Vilanueva
ING. DE MATERIALES
R. C. N° 197384

Anexo N°77: Ensayo de estabilidad método Marshall



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 60% GRAVA + 40% ARENA + 8.0% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA			DEFORMACIÓN	
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf		kgf prom
1	6.52	6.50	6.51	3.85	3.90	3.88	6.45	1450.02	657.71	677.42	10.78
2	6.45	6.43	6.44	4.00	4.02	4.01	6.67	1499.48	680.14		10.04
3	6.53	6.50	6.52	4.75	4.75	4.75	6.81	1530.96	694.42		11.57



Jorge Alejandro Martínez
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 19738

Anexo N°78: Ensayo de estabilidad método Marshall



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicas y Suelos

ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021

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

SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL

UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA			DEFORMACIÓN	
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf		kgf prom
1	6.48	6.51	6.50	3.88	3.93	3.91	6.34	1425.30	646.49	694.08	10.93
2	6.42	6.41	6.42	4.02	3.99	4.01	7.06	1587.16	719.91		11.18
3	6.52	6.38	6.45	4.78	4.73	4.76	7.02	1578.17	715.83		11.85



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

Anexo N°79: Ensayo de estabilidad método Marshall



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Cerámicas y Suelos

**ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504**

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA
EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
60% GRAVA + 40% ARENA + 7.0% CEMENTO

MUESTRA : ASFÁLTICO

SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL

UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA				DEFORMACIÓN
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf	kgf prom	mm
1	6.48	6.49	6.49	3.58	3.58	3.58	7.24	1627.62	738.26	728.07	11.35
2	6.49	6.49	6.49	3.90	3.83	3.87	6.54	1470.26	666.88		10.46
3	6.50	6.51	6.51	3.68	3.59	3.64	7.64	1717.55	779.05		11.82



Jorge Alejandro Barrios Vilanueva
ING. DE MATERIALES
R. CIP N° 197384

Anexo N°80: Ensayo de estabilidad método Marshall



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicas y Suelos

ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA
EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
60% GRAVA + 40% ARENA + 6.5% CEMENTO

MUESTRA : ASFÁLTICO

SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL

UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA				DEFORMACIÓN
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf	kgf prom	mm
1	6.48	6.49	6.49	4.21	4.22	4.22	5.96	1339.87	607.74	748.80	8.98
2	6.42	6.51	6.47	3.88	3.83	3.86	8.26	1856.93	842.27		11.68
3	6.44	6.43	6.44	3.38	3.43	3.41	7.81	1755.77	796.39		11.95




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

Anexo N°81: Ensayo de estabilidad método Marshall



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA
EN CALIENTE, TRUJILLO 2021

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

SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL

UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA			DEFORMACIÓN	
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgF	kgf prom	mm
1	6.26	6.40	6.33	4.10	4.01	4.06	6.34	1425.30	646.49	646.15	9.68
2	6.47	6.30	6.39	3.48	3.52	3.50	6.29	1414.05	641.39		9.85
3	6.38	6.48	6.43	3.54	3.57	3.56	6.38	1434.29	650.57		9.59




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

Anexo N°82: Ensayo de estabilidad método Marshall



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
MUESTRA : 60% GRAVA + 40% ARENA + 5.5% CEMENTO ASFÁLTICO
SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL
UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA			DEFORMACIÓN	
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf		kgf prom
1	6.26	6.40	6.33	4.10	4.01	4.06	5.98	1344.36	609.78	580.89	9.68
2	6.47	6.30	6.39	3.48	3.52	3.50	5.96	1339.87	607.74		9.85
3	6.38	6.48	6.43	3.54	3.57	3.56	5.15	1157.77	525.15		9.59



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

Anexo N°83: Ensayo de estabilidad método Marshall



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicas y Suelos

**ENSAYO DE ESTABILIDAD MÉTODO MARSHALL
NORMA MTC E-504**

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA
EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
60% GRAVA + 40% ARENA + 5.0% CEMENTO

MUESTRA : ASFÁLTICO

SOLICITANTE : BURGOS ÁLVAREZ, ELMER RAÚL
RODRIGUEZ NEYRA, JUAN DANIEL

UBICACIÓN : TRUJILLO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

NÚMERO	D1	D2	D	H1	H2	H	CARGA				DEFORMACIÓN
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	KN	lbf	kgf	kgf prom	mm
1	6.53	6.50	6.52	3.69	3.70	3.70	5.86	1317.39	597.54	594.83	13.56
2	6.43	6.24	6.34	4.20	4.26	4.23	5.81	1306.15	592.45		12.75
3	6.59	6.51	6.55	3.81	3.84	3.83	5.83	1310.64	594.49		13.85




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

Anexo N°83: Lista de precios de asfaltos

 Petroperú PETROLEOS DEL PERU - PETROPERU S.A. GERENCIA PLANEAMIENTO Y GESTIÓN		LISTA DE PRECIOS DE ASFALTOS				
		LISTA N°:		ASFA-13-2021		
		VIGENTE DESDE:		21-Oct-21		
PRECIOS EX - PLANTA TALARA						
Despacho	Cemento Asfáltico - Sólido de Pavimentación PEN 40/50 AL 120/150 (*) Código: E3, E4, E5, E6 y E7		Asfalto Líquido de Pavimentación RC-70 Código: 59		Asfalto Líquido de Pavimentación RC-250 Código: 60	
Carros Cisterna	10.76	Soles/Galón + IGV	10.73	Soles/Galón + IGV	10.73	Soles/Galón + IGV
Cilindro (55 galones)	10.81	Soles/Galón + IGV	10.78	Soles/Galón + IGV	10.78	Soles/Galón + IGV
Despacho	Asfalto Líquido de Pavimentación MC-30 Código: 57		Asfalto Líquido de Pavimentación MC-70 Código: 58			
Carros Cisterna	11.31	Soles/Galón + IGV	11.27	Soles/Galón + IGV		
Cilindro (55 galones)	11.36	Soles/Galón + IGV	11.32	Soles/Galón + IGV		
PRECIOS EX - PLANTA CONCHAN						
Despacho	Cemento Asfáltico - Sólido de Pavimentación PEN 10/20 Código: 81		Cemento Asfáltico - Sólido de Pavimentación PEN 20/30 Código: 82		Cemento Asfáltico - Sólido de Pavimentación PEN 40/50 AL 120/150 (*) Código: E3, E4, E5, E6 y E7	
Carros Cisterna	11.05	Soles/Galón + IGV	11.05	Soles/Galón + IGV	10.76	Soles/Galón + IGV
Cilindro (55 galones)	11.11	Soles/Galón + IGV	11.11	Soles/Galón + IGV	10.81	Soles/Galón + IGV
Despacho	Asfalto Líquido de Pavimentación RC-70 Código: 59		Asfalto Líquido de Pavimentación RC-250 Código: 60		Asfalto Líquido de Pavimentación MC-30 Código: 57	
Carros Cisterna	10.73	Soles/Galón + IGV	10.73	Soles/Galón + IGV	11.31	Soles/Galón + IGV
Cilindro (55 galones)	10.78	Soles/Galón + IGV	10.78	Soles/Galón + IGV	11.36	Soles/Galón + IGV
Despacho	Asfalto Líquido de Pavimentación MC-70 Código: 58					
Carros Cisterna	11.27	Soles/Galón + IGV				
Cilindro (55 galones)	11.32	Soles/Galón + IGV				
PRECIOS EX - PLANTA MOLLENDO						
Despacho	Asfalto Líquido de Pavimentación RC-250 Código: 60					
Carros Cisterna	10.82	Soles/Galón + IGV				
Cilindro (55 galones)	10.87	Soles/Galón + IGV				
			EFFECTO FACTOR TERMICO (Consultar con representantes de Ventas)			
(*) Sólo está disponible en Terminal Conchán.			ANULA LISTA: ASFA-13-2021 DE FECHA: 14.10.2021			

Fuente. PETROPERÚ S.A.

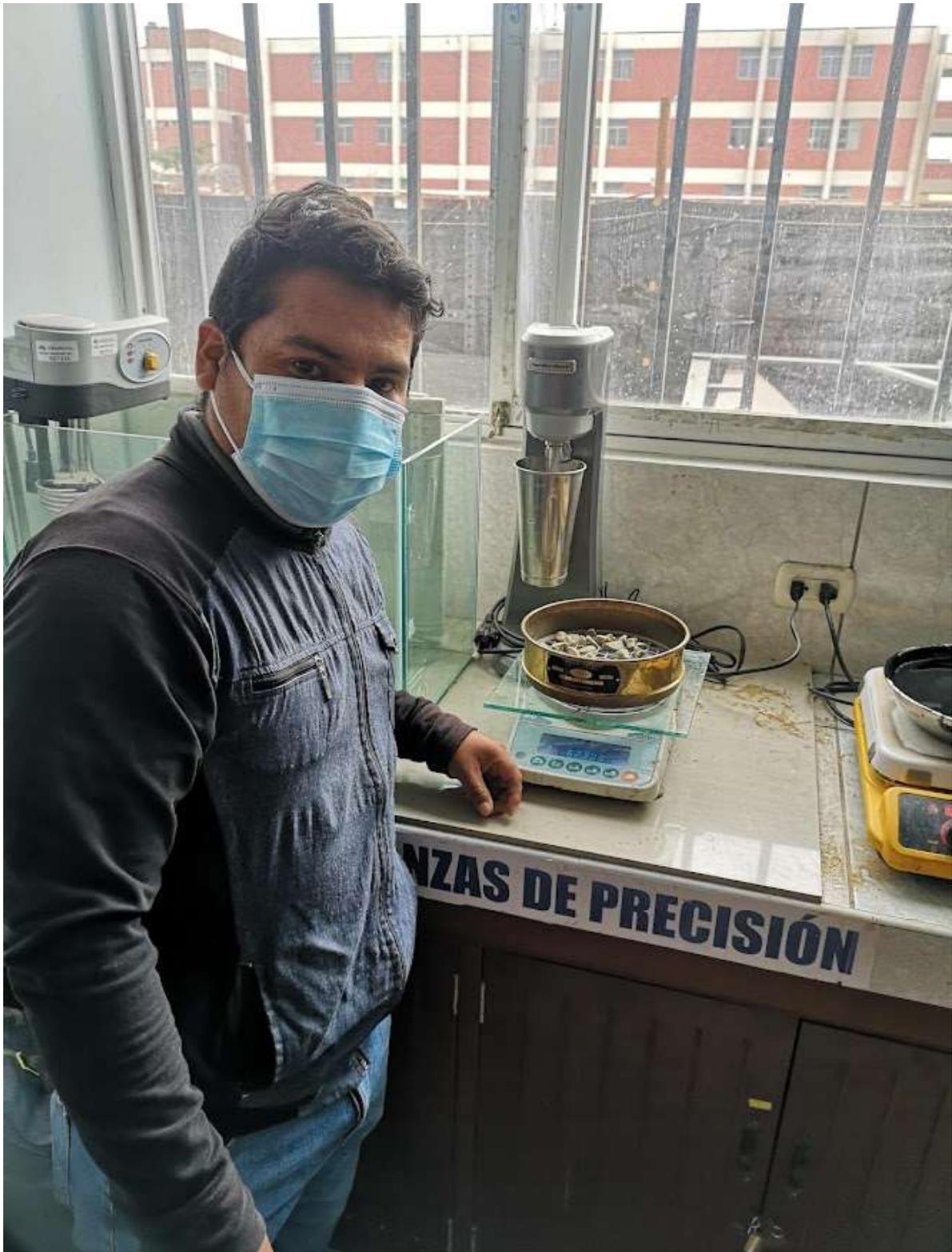
Anexo N°84: Ensayo de granulometría para el agregado grueso



Anexo N°85: Ensayo de granulometría para el agregado grueso



Anexo N°86: Ensayo de granulometría para el agregado grueso



Anexo N°87: Ensayo de granulometría para el agregado grueso



Anexo N°88: Ensayo de granulometría para el agregado grueso



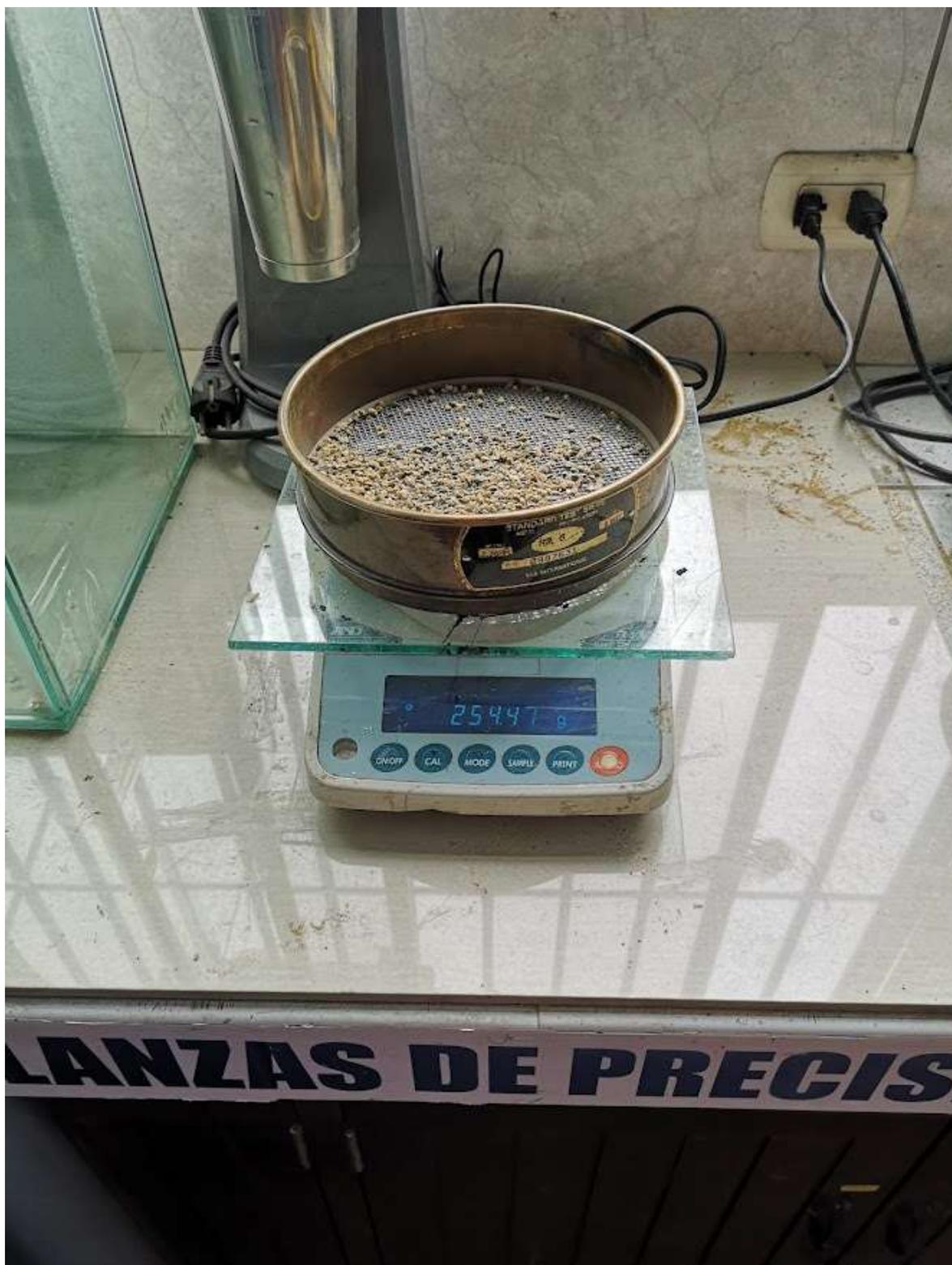
Anexo N°89: Ensayo de granulometría para el agregado grueso



Anexo N°90: Ensayo de granulometría para el agregado grueso



Anexo N°91: Ensayo de granulometría para el agregado fino



Anexo N°92: Ensayo de granulometría para el agregado fino



Anexo N°93: Caracterización de los agregados - Humedad



Anexo N°94: Caracterización de los agregados - Humedad



Anexo N°95: Caracterización de los agregados - Humedad



Anexo N°96: Caracterización de los agregados - Humedad



Anexo N°97: Caracterización de los agregados - Humedad



Anexo N°98: Peso necesario de caucho



Anexo N°99: Cemento asfáltico



Anexo N°100: Mezcla de cemento asfáltico con los agregados para una mezcla
convencional



Anexo N°101: Mezcla de cemento asfáltico con los agregados para una mezcla
convencional



Anexo N°102: Mezcla de cemento asfáltico con los agregados para una mezcla modificada



Anexo N°103: Conformación de las probetas



Anexo N°104: Conformación de las probetas



Anexo N°105: Conformación de las probetas



Anexo N°106: Conformación de las probetas



Anexo N°107: Conformación de las probetas



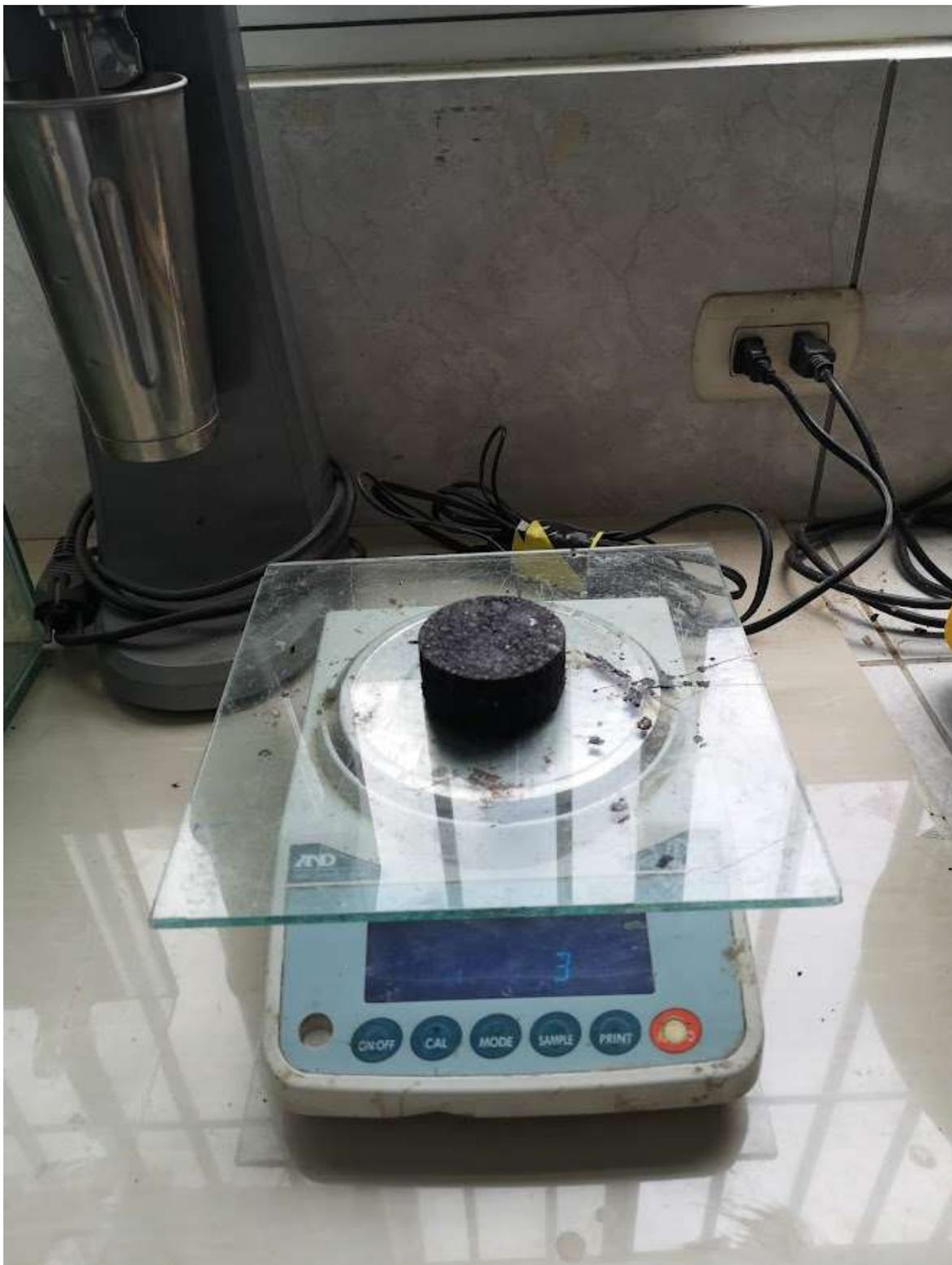
Anexo N°108: Caracterizando probetas



Anexo N°109: Caracterizando probetas



Anexo N°110: Caracterizando probetas



Anexo N°111: Comprimiendo las probetas



Anexo N°112: Probeta deformada



Anexo N°113: Comprimiendo las probetas



Anexo N°114: Ensayo de absorción



Anexo N°115: Ensayo de absorción



Anexo N°116: Ensayo de absorción

