



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**Caucho reciclado y su efecto en las propiedades
mecánicas, físicas y volumétricas de la mezcla asfáltica
en caliente**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Civil**

AUTORES:

Castillo Burgos, Ángel Martín (orcid.org/0000-0003-4913-044X)

Martínez Alvarado, Ariana del Pilar (orcid.org/0000-0001-6193-0621)

ASESORES:

Mg. Meza Rivas, Jorge Luis (orcid.org/0000-0002-4258-4097)

Dr. Farfán Córdova, Marlon Gastón (orcid.org/0000-0001-9295-5557)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Infraestructura Vial

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO-PERÚ

2022

Dedicatoria

Dedico este último peldaño de mi carrera a mi madre Jenny del Milagro Alvarado Ayllón, quien nunca se rindió conmigo brindándome su apoyo incondicional en cada aspecto de mi vida y sobre todo para culminar mi carrera, a mi padre Jorge Luis Martínez Llenque, quien siempre estuvo a mi lado en cada etapa de mi vida, apoyándome y aconsejándome para hacer de mí una persona de bien, a mi compañero de toda la vida, Daniel Matheus Vásquez Mendoza, quien sostuvo mi mano todos estos años, en las buenas y en las malas siempre juntos siendo uno y con todo mi corazón a mis pequeños Ebicho, Jasper, Levi y Leo, quienes llegaron a alegrar mi vida, dándome un motivo por el cual seguir y no rendirme, sin necesidad de hablar me brindaron todo el apoyo para ser más fuerte ante las dificultades y con quienes estaré siempre agradecida.

ARIANA DEL PILAR MARTINEZ ALVARADO

A mis padres, Martín Castillo Olivari y Susana Burgos Rentería, por ser mi mayor motivación. A mis tíos Luis Eduardo Burgos Rentería y Xenia Julia Burgos Rentería, por su apoyo desinteresado y por sus consejos durante mi formación universitaria y personal, y a mis amigos que en todo momento se encontraban motivándome. Esta tesis va dedicada, para cada una de las personas que estuvieron conmigo durante mi carrera universitaria.

ÁNGEL MARTIN CASTILLO BURGOS

Agradecimiento

Agradecemos a la Universidad Cesar Vallejo por brindarnos una educación y formación de calidad, el cual con mucho esfuerzo hemos logrado culminar. Nuestro más grato agradecimiento hacia nuestro asesor metodólogo el Dr. Marlon Gastón Farfán Córdova quien nos ha instruido y brindado su apoyo en la elaboración de esta tesis, Al ing. Jorge Luis Meza Rivas por ser nuestra guía no solo bríndanos conocimientos sobre la carrera, sino también formándonos para ser ingenieros con ética profesional.

Para finalizar, agradecemos al Ing. Carlos Javier Ramírez y al Ing. Oscar Ibáñez Diaz por complementar nuestra formación guiándonos en el desarrollo de nuestros ensayos de laboratorio de mecánica de suelos.

ARIANA DEL PILAR MARTINEZ ALVARADO

ÁNGEL MARTIN CASTILLO BURGOS

Índice de contenidos

| | |
|---|-----|
| Dedicatoria | ii |
| Agradecimiento..... | iii |
| Resumen | xi |
| Abstract | xii |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. MARCO TEÓRICO | 4 |
| III. METODOLOGÍA..... | 10 |
| 3.1. Tipo y diseño de investigación | 10 |
| 3.1.1. Tipo de investigación:..... | 10 |
| 3.1.2. Diseño de investigación:..... | 10 |
| 3.2. Variables y operacionalización..... | 11 |
| 3.3. Población, muestra y muestro..... | 12 |
| 3.3.1. Población:..... | 12 |
| 3.3.2. Muestra:..... | 12 |
| 3.3.3. Muestreo:..... | 13 |
| 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 13 |
| 3.4.1. Técnica: | 13 |
| 3.4.2. Instrumentos:..... | 14 |
| 3.4.2.1. Instrumentos documentales y digitales | 14 |
| 3.4.2.2. Instrumentos mecánicos | 14 |
| 3.5. Procedimientos..... | 16 |
| 3.6. Método de análisis de datos..... | 23 |
| 3.7. Aspectos éticos | 23 |
| IV. RESULTADOS | 25 |
| 4.1. Estudio de mecánica de suelos. | 25 |
| 4.1.1. Ensayo de desgaste por abrasión..... | 25 |
| 4.1.2. Inalterabilidad de los agregados al sulfato de magnesio. | 26 |
| 4.1.3. Equivalente de arena..... | 27 |
| 4.1.4. Contenido de sales solubles en agua. | 27 |
| 4.1.5. Método de ensayo para determinación de partículas chatas y alargadas en agregado grueso. | 28 |
| 4.1.6. Análisis granulométrico: | 29 |
| 4.1.7. Contenido de humedad evaporable de los agregados. | 30 |
| 4.1.8. Método de prueba estándar para densidad relativa (Gravedad específica) y absorción de agregado grueso..... | 31 |
| 4.1.9. Método de prueba estándar para densidad relativa (Gravedad específica) y absorción de agregado fino. | 31 |
| 4.2. Mezcla asfáltica patrón en caliente y mezcla asfáltica incorporando gránulos de caucho reciclado utilizando el método Marshall. | 32 |

| | |
|---|----|
| 4.2.1. Diseño de mezcla asfáltica en caliente con PEN 60/70 al 4.5%, 5%,5.5%6% y 6.5%..... | 32 |
| 4.2.2. Diseño de mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho al 0.5%, 1%, 2.5%, 3.5%, 4.5% y 5.5%. | 37 |
| 4.3. Comportamiento de las propiedades mecánicas, físicas y volumétricas entre la mezcla asfáltica patrón y la mezcla asfáltica reemplazando agregado fino por gránulos de caucho reciclado. | 42 |
| 4.3.1. Propiedades mecánicas | 42 |
| 4.3.1.1. Estabilidad | 42 |
| 4.3.1.1.1. Comparativo entre especímenes de cada muestra respecto a la estabilidad. | 42 |
| 4.3.1.1.2. Comparativo de cada porcentaje de caucho respecto a la estabilidad promedio. | 42 |
| 4.3.1.1.3. Prueba de normalidad respecto a la estabilidad comparativa | 43 |
| 4.3.1.1.4. Prueba de Kruskal-Wallis respecto a la estabilidad comparativa | 44 |
| 4.3.1.2. Flujo..... | 45 |
| 4.3.1.2.1. Comparativo entre especímenes de cada muestra respecto al flujo. | 45 |
| 4.3.1.2.2. Comparativo de cada porcentaje de caucho respecto al flujo promedio. .. | 45 |
| 4.3.1.2.3. Prueba de normalidad respecto al flujo comparativo | 46 |
| 4.3.1.2.4. Prueba de Kruskal-Wallis respecto al flujo comparativo. | 47 |
| 4.3.1.2.5. Prueba de <i>U de Mann-Whitney</i> respecto al flujo comparativo. | 48 |
| 4.3.2. Propiedades físicas | 49 |
| 4.3.2.1. Densidad | 49 |
| 4.3.2.1.1. Comparativo entre especímenes de cada muestra respecto a la densidad. | 49 |
| 4.3.2.1.2. Comparativo de cada porcentaje de caucho respecto a la densidad promedio. | 49 |
| 4.3.2.1.3. Prueba de normalidad respecto a la densidad comparativa. | 50 |
| 4.3.2.1.4. Prueba de Kruskal-Wallis respecto a la densidad comparativo. | 51 |
| 4.3.2.1.5. Prueba de <i>U de Mann-Whitney</i> respecto a la densidad comparativo. | 52 |
| 4.3.3. Propiedades volumétricas | 53 |
| 4.3.3.1. Porcentaje de vacíos total de la mezcla (VTM)..... | 53 |
| 4.3.3.1.1. Comparativo entre especímenes de cada muestra respecto al porcentaje de vacíos total de la mezcla. | 53 |
| 4.3.3.1.2. Comparativo de cada porcentaje de caucho respecto al porcentaje de vacíos total de la mezcla promedio..... | 53 |
| 4.3.3.1.3. Prueba de normalidad respecto a la VTM comparativa. | 54 |
| 4.3.3.1.4. Prueba de <i>Kruskal-Wallis</i> respecto al VTM comparativo. | 55 |
| 4.3.3.1.5. Prueba de <i>U de Mann-Whitney</i> respecto al VTM comparativo. | 56 |
| 4.3.3.2. Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) | 57 |
| 4.3.3.2.1. Comparativo entre especímenes de cada muestra respecto al porcentaje de vacíos del agregado mineral..... | 57 |
| 4.3.3.2.2. Comparativo de cada porcentaje de caucho respecto al porcentaje de vacíos del agregado mineral promedio..... | 57 |

| | |
|---|----|
| 4.3.3.2.3. Prueba de normalidad respecto a la VMA comparativa | 58 |
| 4.3.3.2.4. Prueba de <i>Kruskal-Wallis</i> respecto al VMA comparativo | 59 |
| 4.3.3.2.5. Prueba de <i>U de Mann-Whitney</i> respecto al VMA comparativo | 60 |
| 4.3.3.3. Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) | 61 |
| 4.3.3.3.1. Comparativo entre especímenes de cada muestra respecto al porcentaje de vacíos llenos con asfalto..... | 61 |
| 4.3.3.3.2. Comparativo de cada porcentaje de caucho respecto al porcentaje de vacíos llenos con asfalto promedio..... | 61 |
| 4.3.3.3.3. Prueba de normalidad respecto a la VMA comparativa | 62 |
| 4.3.3.3.4. Prueba de <i>Kruskal-Wallis</i> respecto al VFA comparativo..... | 63 |
| 4.3.3.3.5. Prueba de <i>U de Mann-Whitney</i> respecto al VFA comparativo..... | 64 |
| V. DISCUSIÓN | 65 |
| VI. CONCLUSIONES..... | 69 |
| VII. RECOMENDACIONES | 71 |
| REFERENCIAS | 72 |
| ANEXOS..... | 86 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Diseño Experimental de tipo cuasi experimental..... | 10 |
| Tabla 2. Cantidad de probetas con porcentaje de dosificación..... | 13 |
| Tabla 7. Ensayo de desgaste por abrasión ASTM C 131..... | 25 |
| Tabla 8. Agregado fino sumergido en sulfato de magnesio ASTM C 88..... | 26 |
| Tabla 9. Agregado grueso sumergido en sulfato de magnesio ASTM C 88..... | 26 |
| Tabla 4. Equivalente de arena ASTM D 2419..... | 27 |
| Tabla 11. Contenido de sales agregado fino..... | 27 |
| Tabla 12. Contenido de sales en agregado grueso..... | 28 |
| Tabla 13. Partículas chatas y largas en masa ASTM D 4791..... | 28 |
| Tabla 14. Partículas chatas y largas por conteo ASTM D 4791..... | 29 |
| Tabla 3. Análisis granulométrico de los agregados..... | 29 |
| Tabla 10. Contenido de humedad promedio de agregado grueso y fino ASTM C566-19..... | 30 |
| Tabla 6. Método de prueba estándar para densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agregado grueso ASTM C 127-15..... | 31 |
| Tabla 5. Método de prueba estándar para densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agregado fino ASTM C 128-15..... | 31 |
| Tabla 15. Diseño de mezcla asfáltica en caliente con PEN 60/70..... | 32 |
| Tabla 16. Diseño de mezcla asfáltica en caliente con PEN 60/70..... | 37 |
| Tabla 17. Estadísticos del grupo control y experimentales..... | 43 |
| Tabla 18. Pruebas de normalidad..... | 43 |
| Tabla 19. Estadísticos de prueba..... | 44 |
| Tabla 20. Estadísticos del grupo control y experimentales..... | 46 |
| Tabla 21. Pruebas de normalidad..... | 46 |
| Tabla 22. Técnica Kruskal-Wallis..... | 47 |
| Tabla 23. U de Mann-Whitney..... | 48 |
| Tabla 24. Estadísticos del grupo control y experimentales..... | 50 |
| Tabla 25. Pruebas de normalidad..... | 50 |
| Tabla 26. Técnica Kruskal-Wallis..... | 51 |
| Tabla 27. U de Mann-Whitney..... | 52 |
| Tabla 28. Estadísticos del grupo control y experimentales..... | 54 |
| Tabla 29. Pruebas de normalidad..... | 54 |
| Tabla 30. Técnica Kruskal-Wallis..... | 55 |
| Tabla 31. U de Mann-Whitney..... | 56 |
| Tabla 32. Estadísticos del grupo control y experimentales..... | 58 |
| Tabla 33. Pruebas de normalidad..... | 58 |
| Tabla 34. Técnica Kruskal-Wallis..... | 59 |
| Tabla 35. U de Mann-Whitney..... | 60 |
| Tabla 36. Estadísticos del grupo control y experimentales..... | 62 |
| Tabla 37. Pruebas de normalidad..... | 62 |

| | |
|--|----|
| Tabla 38. Técnica Kruskal-Wallis..... | 63 |
| Tabla 39. U de Mann-Whitney | 64 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Curva granulométrica de los agregados finos y gruesos..... | 30 |
| Figura 2. Relación peso específico (gr/cm^3) vs asfalto (%)..... | 34 |
| Figura 3. Relación estabilidad (kg) vs asfalto (%)..... | 34 |
| Figura 4. Relación Vacíos VTM (%) vs asfalto (%)..... | 35 |
| Figura 5. Relación flujo (0.01") vs asfalto (%)..... | 35 |
| Figura 6. Relación volumen lleno con asfalto VFA (%) vs asfalto (%)..... | 36 |
| Figura 7. Relación volumen de agregado mineral VMA (%) vs asfalto (%)..... | 36 |
| Figura 8. Relación peso específico (gr/cm^3) (%) vs caucho (%)..... | 39 |
| Figura 9. Relación estabilidad (Lb) vs caucho (%)..... | 39 |
| Figura 10. Relación vacíos VTM (%) vs caucho (%)..... | 40 |
| Figura 11. Relación flujo (0.01") vs caucho (%)..... | 40 |
| Figura 12. Relación volumen lleno con asfalto VFA (%) vs caucho (%)..... | 41 |
| Figura 13. Relación volumen de agregado mineral VMA (%) vs caucho (%)..... | 41 |
| Figura 14. Comparación entre 3 especímenes de estabilidad patrón y 3 especímenes de estabilidad patrón + % de caucho. | 42 |
| Figura 15. Comparación entre el promedio de estabilidad patrón y promedio de estabilidad patrón + % de caucho (en cada porcentaje). | 42 |
| Figura 16. Significancia entre grupo control y experimentales. | 44 |
| Figura 17. Comparación entre 3 especímenes de flujo patrón y 3 especímenes de flujo patrón + % de caucho..... | 45 |
| Figura 18. Comparación entre el promedio de flujo patrón y promedio de flujo patrón + % de caucho (en cada porcentaje)..... | 45 |
| Figura 19. Significancia entre grupo control y experimentales. | 47 |
| Figura 20. Comparación entre 3 especímenes de densidad patrón y 3 especímenes de densidad patrón + % de caucho. | 49 |
| Figura 21. Comparación entre el promedio de densidad patrón y promedio de densidad patrón + % de caucho (en cada porcentaje). | 49 |
| Figura 22. Significancia entre grupo control y experimentales. | 51 |
| Figura 23. Comparación entre 3 especímenes de VTM patrón y 3 especímenes de VTM patrón + % de caucho..... | 53 |
| Figura 24. Comparación entre el promedio de VTM patrón y promedio de VTM patrón + % de caucho (en cada porcentaje)..... | 53 |
| Figura 25. Significancia entre grupo control y experimentales. | 55 |
| Figura 26. Comparación entre 3 especímenes de VMA patrón y 3 especímenes de VMA patrón + % de caucho..... | 57 |
| Figura 27. Comparación entre el promedio de VMA patrón y promedio de VMA patrón + % de caucho (en cada porcentaje)..... | 57 |
| Figura 28. Significancia entre grupo control y experimentales. | 59 |
| Figura 29. Comparación entre 3 especímenes de VFA patrón y 3 especímenes de VFA patrón + % de caucho..... | 61 |
| Figura 30. Comparación entre el promedio de VFA patrón y promedio de VFA patrón + % de caucho (en cada porcentaje)..... | 61 |

Figura 31. Significancia entre grupo control y experimentales. 63

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo principal evaluar el efecto de la incorporación del caucho reciclado en las propiedades mecánicas, físicas y volumétricas en la mezcla asfáltica en caliente, y como objetivos específicos: realizar el estudio de mecánica de suelos, realizar la mezcla asfáltica patrón en caliente y la mezcla asfáltica patrón incorporando gránulos de caucho reciclado utilizando el método Marshall, comparar y realizar el análisis estadístico del comportamiento de las propiedades mecánicas, físicas y volumétricas entre la mezcla asfáltica patrón y la mezcla asfáltica patrón incorporando gránulos de caucho reciclado, con la finalidad de mejorar las propiedades mecánicas, físicas y volumétricas del pavimento flexible, es decir para que tenga una mejor expectativa de vida útil. Se realizó 25 briquetas control, 5 con cada porcentaje de asfalto (4.0 %, 5%, 5.5%, 6% y 6.5%), donde el óptimo porcentaje de asfalto fue de 5.8%, y 30 briquetas experimentales, 5 con cada porcentaje de gránulos de caucho reciclado (0.5%, 1% 2.5%, 3.5%,4.5% y 5.5%), en el cual el óptimo porcentaje de caucho fue de 2.3 %, la comparación en la mayoría de las propiedades resultó significativa, por ello se concluye que existe una mejora al incorporar caucho a la mezcla asfáltica en caliente.

Palabras clave: caucho reciclado, método Marshall, propiedades del asfalto

Abstract

The main objective of this research is to evaluate the effect of the incorporation of recycled rubber on the mechanical, physical and volumetric properties of the hot mix asphalt, and as specific objectives: To carry out the soil mechanics study, to make the standard hot asphalt mix and the standard asphalt mix incorporating recycled rubber granules using the Marshall method, to compare and carry out the statistical analysis of the behavior of the mechanical, physical and volumetric properties between the standard asphalt mix and the standard asphalt mix incorporating recycled rubber granules, with the purpose of improving the mechanical, physical and volumetric properties of the flexible pavement, i.e. to have a better life expectancy. 25 control briquettes were made, 5 with each percentage of asphalt (4.0 %, 5%, 5.5%, 6% and 6.5%), where the optimum percentage of asphalt was 5.8%, and 30 experimental briquettes, 5 with each percentage of recycled rubber granules (0.5%, 1% 2. 5%, 3.5%, 4.5% and 5.5%), in which the optimum percentage of rubber was 2.3%, the comparison in most of the properties was significant, therefore it is concluded that there is an improvement by incorporating rubber to the hot mix asphalt.

Keywords: recycled rubber, Marshall method, asphalt properties

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día podemos apreciar que el material denominado caucho se ha expandido en cuanto a participación como materia prima, ya sea como complemento en la elaboración de materiales o cumpliendo la función de material propiamente dicho en su forma sintética o natural; a través de los años hemos podido relacionar este material con las llantas de automóviles, puesto que es el principal componente para su elaboración, siendo así que aprendimos este término en relación al uso cotidiano de vehículos y medios de transportes terrestres.

Las estadísticas nos dicen que, en el año 2014, la materia prima tuvo un consumo de 28,9 toneladas, lo que al año siguiente su demanda fue de 0,7% a favor, y su tendencia entre los años 2016 y 2024, tendrá un considerable aumento del 3%, y dicho aumento será anual. Se sabe que el 65% a 70 % del total de la manufacturación del caucho (Ordóñez, Loor y Salvatierra, 2017). Al desecharse y al no ser biodegradable y no poder descomponerse por sí mismo presentan dificultades en cuanto al cuidado ambiental en las últimas décadas. La falta de modelo para aprovechar el recurso, tales como plantas recicladoras y procesadoras de caucho, se ve limitada por las malas licitaciones y las desestimaciones que se le da al caucho (Lubo y Martínez, 2019). Debido a que no hay lugares específicos para su reciclaje, por el espacio que ocupan, tienden a ser enterrados o incinerados, este último presentando un gran problema por la emisión de gases tóxicos que emite (Carbajal, 2019).

Son 15 millones de neumáticos que se arrojan anualmente en la India, los montículos de llantas no sólo afectan estéticamente al paisaje, sino que además simbolizan un riesgo para la salud y el medio ambiente, ya que cuando llueve el agua se acumula dentro de ellas generando criaderos de mosquitos que traen consigo varias enfermedades (Deshmukh, 2017). Teniendo cuenta que el caucho tiene un periodo de 500 años en degradarse, la utilización de este recurso aplicándolo de los pavimentos flexibles, es cada vez más importante porque ayuda a conservar el medio ambiente y mejorar los

plazos de vida útil y reducción de los mantenimientos en cuanto sus costos en una infraestructura vial (Cardoza, Angulo y Palomino, 2019).

Por ello, las tecnologías de procesos para aprovechar las propiedades del caucho, tales como los procesos en húmedo y seco, siendo el proceso húmedo, más complejo encargándose en modificar el asfalto con caucho directamente, mientras que el proceso seco se encarga de reemplazar los agregados antes de mezclarse con el asfalto, siendo un proceso más simple, y menos costoso (Wang, Wang y Zhang, 2021), teniendo como finalidad mejorar las propiedades mecánicas, físicas y volumétricas. Se realizaron estudios, incorporando el caucho en distintos porcentajes, para verificar cuanto era la diferencia con el pavimento patrón que usualmente se realiza (Cando et al, 2019), además de una potencial reducción al impacto ambiental y mejor manejo de residuos, ampliando también los periodos de mantenimiento del pavimento, siendo un beneficio económico a largo plazo (Flores, Gatica, Trinidad y Sulca, 2022).

Ante esta realidad se pretende evaluar las propiedades mecánicas, físicas y volumétricas principales en las mezclas asfálticas incorporando gránulos de caucho, con la finalidad de plantear alternativas de solución a las deficiencias mencionadas previamente. Por consiguiente, se planteó la siguiente interrogante: ¿Cuál es el efecto de la incorporación del caucho reciclado en las propiedades mecánicas, físicas y volumétricas en la mezcla asfáltica en caliente?

Teóricamente, esta investigación se justifica porque pretende aportar a la construcción de experiencias respecto al uso de caucho en la mezclas asfálticas ,permitiendo así incrementar el conocimiento sobre el uso de este material y sus posibles aplicaciones en procesos constructivos futuros, ya que con ello podemos tener una referencia de cómo funciona los gránulos de caucho que se agregaran a la mezcla asfáltica, pudiendo resultar en un cambio innovador respecto a las propiedades mecánicas que se obtendrían; de igual forma presenta una justificación metodológica, en la cual se debe tener en consideración pautas iniciales para la correcta aplicación de estos ensayos, las cuales son: contar con bases previas (antecedentes), los cuales apoyaran

nuestra investigación, acopiar materiales de centros certificados (agregados, asfalto, etc.) , controlar en todo momento los ensayos pertinentes para asegurar la veracidad de los datos obtenidos y transparencia al comparar y exponer los resultados, esto ocasionara que al finalizar la investigación pueda servir como modelo y guía para investigaciones similares.

Desde el punto de vista social este proyecto permitirá que las dificultades que se mencionaron anteriormente tengan una solución viable e innovadora, ya que por mucho tiempo vehículos y personas de distintos lugares que utilizan cotidianamente este medio de transporte tienen que sobrellevar a diario estas dificultades, lo cual ha generado malestar, accidentes y daños vehiculares. Por otro lado, en el ámbito práctico, al ser un principal medio de transporte terrestre requiere ser implementada constantemente con mejoras estructurales que se acoplen a las necesidades que cada sector requiere, es decir que permitan una mejor transportabilidad de vehículos, materia prima y personas.

Para poder responder a nuestro problema se planteó como objetivo general: evaluar el efecto de la incorporación del caucho reciclado en las propiedades mecánicas, físicas y volumétricas en la mezcla asfáltica en caliente. Y como objetivos específicos: Realizar el estudio de mecánica de suelos, Realizar la mezcla asfáltica patrón en caliente y la mezcla asfáltica patrón incorporando gránulos de caucho reciclado utilizando el método Marshall, Comparar y realizar el análisis estadístico del comportamiento de las propiedades mecánicas, físicas y volumétricas entre la mezcla asfáltica patrón y la mezcla asfáltica patrón incorporando gránulos de caucho reciclado.

Ante la situación mencionada se planteó como hipótesis que la incorporación de gránulos de caucho en la mezcla asfáltica mejora las propiedades mecánicas, físicas y volumétricas, tales como: estabilidad, flujo, densidad, porcentaje de vacíos total de la mezcla (VTM), porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) y porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA).

II. MARCO TEÓRICO

Para alcanzar un mayor entendimiento respecto al caucho reciclado y su efecto en las propiedades mecánicas, físicas y volumétricas en la mezcla asfáltica en caliente, se muestran investigaciones que presentan la metodología, resultados y conclusiones de estudios. Como antecedentes internacionales tenemos que: Almusawi, Hassan, Mohammad y bora (2020), tuvieron como objetivo analizar los efectos del tamaño del caucho granulado en los ensayos Marshall. Para obtener el óptimo contenido de betún, podemos optar por uno de los dos métodos; el primero para un contenido óptimo nos indica un valor de 4% de un vacío de aire, y el segundo que es el valor medio del contenido del betún a la máxima estabilidad, también considerando el 4% de un vacío de aire. Para la densidad tenemos un principio que nos dice que, frente a cualquier aumento de la densidad en el proceso de compactación, se aumenta la resistencia al corte para ser ejecutado en cargas repetidas. Por otro lado, para los vacíos y mezcla total (VMT) son lo adverso del contenido de betún, simplifícadamente sería, a mayor contenido betún, menor será el valor de vacíos en la mezcla, en su mayoría las agencias propusieron valores del 3 al 5%. Por otro lado, para los huecos llenos de betún (VMF), representan un rango entre el 75% y el 85%, los (VMF) cumplen el rol importante de reducir la formación de surcos bajo cargas de uso diario. Finalmente, para la estabilidad en el método Marshall, podemos decir que es la carga de compresión máxima que puede soportar nuestra muestra antes que llegue a la ruptura a una temperatura de 60 °C partiendo de la velocidad de carga de 51 mm /min. En pocas palabras la estabilidad en dicho método, está supeditado a la configuración y cantidad de carga, temperatura, presión de las llantas, propiedades de su grado y demás factores. Llegando al resultado que; el caucho influye en el contenido óptimo de betún aumentando según la proporción que se adecua, debido a la absorción del betún por el agregado de caucho, la propiedad elástica que tiene el caucho tiene menor densidad con respecto a la mezcla convencional, Por otro lado, y la estabilidad tiene una reducción progresiva conforme se le vaya aumentando el porcentaje de agregado de caucho la mezcla, la propiedad del betún que es la cohesión afecta la estabilidad de la mezcla. En conclusión para el proceso seco efectuado dicha investigación, nos indican que en el proceso Marshall, los parámetros de

estabilidad y densidad muestran una disminución considerable con el aumento de porcentajes de agregado de caucho, este al tener un comportamiento elástico, podría dificultar a la masa en cuanto a su densificación mediante la compactación, además en los análisis volumétricos mientras más es la capacidad de caucho a en los agregados de la mezcla este incrementa el contenido de huecos de aire posterior a su compactación.

Para Lubo y Martínez (2019), en Colombia, con su investigación buscaron evaluar los procesos de modificación y ventajas de mezclas asfálticas con cauchos. Utilizando la tecnología de mezclado continua, también conocida como Florida Wet Process, en la realización de dicho proceso utilizaron un tamaño que pasa por el tamiz N°80, a diferencia del proceso McDonald, se trabaja con porcentajes entre el 8 y 10%, al ser de un diminuto tamaño se reduce el tiempo y la temperatura para el mezclado. El caucho trabaja como espesante, elevando su viscosidad al ligante en las mezclas asfálticas, que esto admite mezclar con una capa más gruesa de asfalto sin que se produzca los fenómenos escurrimiento o exudaciones. Teniendo como resultado, mayor resistencia al calor y sobrecalentamiento, disminución del ruido en la carpeta de rodadura, durabilidad, menor mantenimiento y mayor resistencia al desgaste por abrasión. Finalmente se llegó a la conclusión, que son muchos los beneficios que nos brinda el caucho, entre ellos destaca el aumento de su durabilidad a largo plazo y disminución de los mantenimientos.

Orellana y Solano (2019) en su tesis evaluaron las características de los agregados a través de ensayos de laboratorio para definir la granulometría, se rigieron a las normas ASTM D75 Y C702, las muestras que fueron extraídas en un estado húmedo, las cuales fueron secadas por un periodo de 24 horas en temperatura de 110 °C en el horno, usando la homogeneidad o cuarteto se llegó a obtener 10 kg de masa total, seleccionando un juego de tamices de 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N° 4 de laboratorio para luego ser tamizadas mecánicamente durante un periodo de 3 minutos en intervalos de medio minuto concluyendo manualmente con el tamizado, determinando así el peso conservado en cada tamiz y así respectivamente el material que pasaba por menor abertura, luego hicieron el mismo procedimiento para los agregados finos tomando una cantidad de 852 g disponiendo de los tamices 4, #8, #10, #16, #30, #50, #100 y #200, utilizando la norma AASHTO C117 para determinar el material fino, luego

secaron el material, con la finalidad de evitar la humedad y así tener una muestra mucho más seca para obtener la masa, registrando así una masa inicial en su estado seco, posterior a ello se realizó el lavado para eliminar el material fino con ayuda de la malla # 200 pero evitando la retención del material que estaba resguardado por dicho tamiz para luego secar en un horno en un periodo de 24 horas considerando la temperatura de 110 °C, finalmente se registró el peso de la muestra seca después del proceso. Los áridos que fueron obtenidos resultaron favorables en cumplimiento con la normativa, siendo aptos para la construcción de nuevas vías. Concluyendo que los materiales utilizados para los ensayos cumplen con las normas específicas ecuatorianas, en cuanto al tamaño del grano y se encuentran en los límites para mezclas Marshall sabiendo que su porcentaje de abrasión es de 19.65, mucho menor que los límites que la misma norma establece.

Casas (2018) propuso caracterizar los agregados a través de ensayos de laboratorio para determinar la granulometría. Se rigieron a las normas ASTM D75 Y C702, las muestras que fueron extraídas en un estado húmedo, fueron secadas por un periodo de 24 horas en temperatura de 110 °C en el horno, usando la homogeneidad o cuarteo se llegó a obtener 10 kg de masa total, seleccionando un juego de tamices de 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4 de laboratorio para luego ser tamizadas mecánicamente durante un periodo de 3 minutos en intervalos de medio minuto concluyendo manualmente con el tamizado, determinando así el peso conservado en cada tamiz y así respectivamente el material que pasaba por menor abertura, luego hicieron el mismo procedimiento para los agregados finos tomando una cantidad de 852 g disponiendo de los tamices 4, #8, #10, #16, #30, #50, #100 y #200, utilizando la norma AASHTO C117 para determinar el material fino, luego secaron el material, con la finalidad de evitar la humedad y así tener una muestra mucho más seca para obtener la masa, registrando así una masa inicial en su estado seco, posterior a ello se realizó el lavado para eliminar el material fino con ayuda de la malla # 200, pero evitando la retención del material que estaba retenido por dicho tamiz para luego secar en un horno en un periodo de 24 horas considerando la temperatura de 110 °C, finalmente se registró el peso de la muestra seca después del proceso. Teniendo como resultado que los áridos que fueron obtenidos por la cantera resultaron favorables, es decir cumpliendo con

la normativa y siendo aptos para la construcción de nuevas vías. Finalmente se llegó a la conclusión que las propiedades de los materiales utilizados para los ensayos cumplen con las normas específicas que brinda la norma ecuatoriana, en cuanto al tamaño del grano y se encontró en los límites para mezclas Marshall sabiendo que su porcentaje de abrasión es de 19.65, mucho menor que los límites que la misma norma establece

Deshmukh (2017), realizó estudios experimentales con betún y agregados de caucho granulado en porcentajes de 0%, 8%, 10%, 12% y 14% a una temperatura de 160 °C, y dicha muestra se dejó enfriar en un periodo de 55 minutos con la finalidad de obtener el betún modificado para realizar las pruebas posteriores. Dentro de las propiedades físicas del caucho granulado nos encontramos con gravedad específica (1.015) y contenido de humedad (0.71%), en la prueba de penetración se mide la dureza o la suavidad, a través de una aguja estándar cargada penetrada por un periodo de 5 segundos. Teniendo como resultado una penetración de 14.33 mm con respecto al vehículo normal con 69 mm. En ablandamiento, se tuvo un resultado de 55 °C con respecto al normal de 42.75 °C, demostrando que se vuelve menos susceptible a cambio de temperatura. Por último, en las pruebas de ductilidad tenemos 24.6 con respecto a 73, es decir que el betún tiene un comportamiento más viscoso y llega a endurecerse. Llegando a la conclusión que obtiene un menor valor en compenetración, menor susceptibilidad a temperaturas, mayor viscosidad y endurecimiento y una mayor durabilidad con el betún convencional.

Rodríguez (2016) de Costa Rica, buscó evaluar la implementación del caucho en el pavimento mediante los procesos existentes. Emplearon dos métodos para el aprovechamiento del caucho que son: proceso seco y húmedo; el primero consistía en mezclar directamente el caucho con los agregados antes de ser mezclado con el asfalto, teniendo en cuenta los porcentajes comúnmente aplicados de entre 1% y 3% y siendo mezclados a una temperatura de entre 160° y 180°, requiriendo un tiempo de mezclado mucho mayor. El segundo proceso se encarga de mezclar el caucho con el asfalto antes de incorporar con los agregados, requiriendo un sistema de alimentación para el caucho, tanques de calentamiento y agitación, teniendo en consideración la temperatura de entre 175° y 200 °C y un tiempo de mezclado de 45 minutos. En ambos procesos se obtuvo como resultado el aumento del volumen del asfalto envolviendo con una

capa más gruesa la carpeta asfáltica, además de reducción a la fatiga, grietas, resistencia a la deformación y envejecimiento. Llegando la conclusión que el uso del caucho además de beneficios ecológicos, reduce los costos de conservación e incrementa la durabilidad del pavimento.

En el ámbito nacional tenemos que:

Según Hoyos y Del Carmen (2021) en su investigación buscaron obtener el óptimo contenido de caucho en las mezclas asfálticas, optaron por utilizar tres tipos de adiciones de caucho reciclado con respecto al peso total, los cuales fueron 1%, 2% y 3%; a su vez de una mezcla control, sin agregado de caucho reciclado, para ello realizaron las pruebas Marshall, cada una de las muestras, fueron comprimidas a través de los 75 golpes de dicho ensayo. Teniendo como resultado que el óptimo contenido de caucho es 23%, obteniendo así un mejor rendimiento a una temperatura de 60 °C como también a baja temperatura (10 °C), llegando la conclusión que hay una mejora en cuanto a la estabilidad la resistencia la formación de surcos y envejecimiento.

Farfán y Romero (2019) determinaron cuál es su comportamiento de las propiedades mecánicas, cuando se le agrega 1.5 % de caucho granular. Utilizaron los siguientes los siguientes ensayos de laboratorio: ensayos grandes granulométricos para determinar el tamaño de los agregados para luego proceder a los ensayos de contenido de humedad basados en la norma ASTM D2216, en adición sus gravedades específicas y absorción de los agregados finos encontrados en el MTC E 205. Además del peso específico y absorción de agregados gruesos para luego realizar los ensayos Marshall, reemplazando el 1.5 %. Los resultados obtenidos fueron que el agregado de caucho mejora las propiedades mecánicas tales como estabilidad y flujo, llegando así su estabilidad a 2064 kg frente a 2013 kg de la mezcla asfáltica convencional, en cuanto al flujo obtuvieron 3.8mm frente a 3.5 mm. Concluyendo así que la estabilidad se mejora en un 2.5 y el flujo en un 8.57%.

Para poder comprender de forma más detallada el desarrollo de las variables, explicamos su caracterización y función, tanto a nivel teórico como normativo.

Se consideraron dos variables: gránulos de caucho reciclado (variable independiente) y propiedades mecánicas, físicas y volumétricas en la mezcla asfáltica en caliente (variable dependiente), para la primera su definición conceptual según García (2017) es lo que se obtiene después de triturar el

caucho de las llantas usadas, los cuales forman parte del desecho de los vehículos de transporte, dándole así la denominación de grano de caucho reciclado GCR se compone de caucho triturado mecánicamente, no tóxico.

Y como su definición operacional para la misma tenemos al manual de ensayo de materiales y al Manual de ensayo de suelo del ministerio de transportes y comunicaciones.

Respecto a la segunda variable tenemos como definición conceptual según Arenas, Botello, Monsiváis, Ordoñez (2020) las propiedades mecánicas que presentan las mezclas asfálticas, son responsables del comportamiento de los mismo bajo acción de fuerzas externas, continuas o discontinuas, estáticas, dinámicas o cíclicas. Por lo tanto, el estudio de las propiedades mecánicas en la mezcla asfáltica es muy importante al momento de elegir los materiales para su elaboración. Y como su definición operacional tenemos al Manual de carreteras y Normal técnica peruana E-010 pavimentos urbanos.

Para la Dirección general de servicios técnicos (1987), en la textura de la superficie, la conceptualización mecánica, es el principal factor, afectando la adhesividad mecánica, siendo factores como la porosidad, tamaño de las caras, cubrimiento de la superficie, adsorción, viéndose afectados en adhesividad cuando hay presencia del agua. Las propiedades físicas, se encargan de determinar su calificación de las capacidades que tiene el asfalto.

Por su parte el Instituto Mexicano de transporte (2020), cuando nos referimos a propiedad volumétrica de la mezcla asfáltica, es la composición en termino de volumen o masa, considerando 3 componentes que son asfalto, agregado y aire. Teniendo de 6 a 12%, 84 a 90% y 4 % respectivamente.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación:

El presente estudio fue de nivel explicativo (experimental) y tipología básica, dicho nivel se consideró porque esta investigación tuvo como finalidad evaluar la causa y efecto entre las variables propuestas, tales como la relación que se genera con ello (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

3.1.2. Diseño de investigación:

El diseño de investigación fue experimental de tipo cuasi experimental de condición cuantitativa, porque recopilamos información para poder sustentar nuestra hipótesis, toda esta evidencia se presentó mediante proporciones y cantidades específicas lo cual nos permitió reforzar lo que se había propuesto (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). Su esquema es el siguiente:

Tabla 1. *Diseño Experimental de tipo cuasi experimental.*

| BOSQUEJO | LEYENDA |
|---|---|
| G ₁ ___ O ₁ | G1: Grupo briquetas de control |
| G ₂ <u>X1</u> O ₂ | G2: Grupo briquetas experimentales con 0.50% de gránulos de caucho reciclado malla N°4 |
| G ₃ <u>X2</u> O ₃ | G3: Grupo briquetas experimentales con 1% de gránulos de caucho reciclado malla N°4 |
| G ₄ <u>X3</u> O ₄ | G4: Grupo briquetas experimentales con 2.5% de gránulos de caucho reciclado malla N°4 |
| G ₅ <u>X4</u> O ₅ | G5: Grupo briquetas experimentales con 3.5% de gránulos de caucho reciclado malla N°4 |
| G ₆ <u>X5</u> O ₆ | G6: Grupo briquetas experimentales con 4.5% de gránulos de caucho reciclado malla N°4 |
| G ₇ <u>X6</u> O ₇ | G7: Grupo briquetas experimentales con 5.5% de gránulos de caucho reciclado malla N°4 |
| | O_i(i=1,7): Resultados de los ensayos realizados |
| | X_i(i=1,6): Reemplazo del agregado fino por gránulos de caucho reciclado malla N°4 en 0.50%,1%,2.5%,3.5%,4.5% y 5.5% |

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Variables y operacionalización

Las variables de estudio fueron Gránulos de caucho reciclado y propiedades mecánicas, físicas y volumétricas en la mezcla asfáltica en caliente, clasificadas como independiente y dependiente respectivamente.

Se pudo apreciar que cuando el tipo de estudio es experimental las variables independientes tienen una fuerza menor en la realidad, es decir no generan un impacto real respecto a los efectos que estas ocasionan (Cortez e Iglesias, 2016).

Al aplicar estos conceptos en nuestra investigación pudimos identificar que nuestra variable independiente, por ende, manipulada fue los gránulos de caucho reciclado, mientras que nuestra variable fuerte, la cual sería objetivo de análisis entre esta relación fueron las propiedades mecánicas, físicas y volumétricas en la mezcla asfáltica en caliente.

Además, para la primera variable se tuvo como dimensión: porcentaje de gránulos de caucho reciclado (en reemplazo de agregado fino) malla N°4 y como indicadores % de gránulos de caucho reciclado al 0.50%, 1%, 2.5%, 3.5%, 4.5% y 5.5% con escala de medición de razón; para la segunda variable se tuvieron como dimensiones con sus respectivos indicadores : estudio de mecánica de suelos (ensayo de desgaste por abrasión, inalterabilidad de los agregados al sulfato de magnesio, equivalente de arena, contenido de sales solubles en agua, ensayo de determinación de partículas chatas y alargadas en agregado grueso, análisis granulométrico, contenido de humedad evaporable de los agregados, método de prueba estándar para densidad relativa y absorción de agregados), Método Marshall (diseño de mezcla asfáltica patrón en caliente con PEN 60/70 al 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5%, determinar la estabilidad, flujo, densidad, porcentaje de vacíos total de la mezcla (VTM), porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) y porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica patrón en caliente con PEN 60/70, diseño de mezcla asfáltica patrón en caliente modificada con caucho, Determinar la estabilidad, flujo,

densidad, porcentaje de vacíos total de la mezcla (VTM), porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) y porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA); y comparación y análisis estadístico de resultados (estabilidad, flujo, densidad, porcentaje de vacíos total de la mezcla (VTM), porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) y porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica patrón en caliente y estabilidad, flujo, densidad, porcentaje de vacíos total de la mezcla (VTM), porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) y porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica patrón en caliente modificada con caucho), todos los indicadores cuentan con escala de medición de razón.

La matriz se adjunta en el anexo 1 y 2.

3.3. Población, muestra y muestro

3.3.1. Población:

Briquetas de mezcla asfáltica incorporando gránulos de caucho.

3.3.2. Muestra:

Se hicieron 5 briquetas grupo control (0% de gránulos de caucho) y 30 briquetas experimentales de las cuales: 5 briquetas con 0.5% de gránulos de caucho (en reemplazo de agregado fino) malla N°4, 5 briquetas con 1% de gránulos de caucho malla N°4, 5 briquetas con 2.5% de gránulos de caucho malla N°4, 5 briquetas con 3.5% de gránulos de caucho malla N°4, 5 briquetas con 4.5% de gránulos de caucho malla N°4, 5 briquetas 5.5% de gránulos de malla N°4.

Tabla 2. Cantidad de probetas con porcentaje de dosificación.

| Descripción | Dosificación de gránulos de caucho reciclado malla N°4 (%) | Cantidad de probetas |
|-------------|--|----------------------|
| G1: | 0% | 5 |
| G2: | 0.5% | 5 |
| G3: | 1% | 5 |
| G4: | 2.5% | 5 |
| G5: | 3.5% | 5 |
| G6: | 4.5% | 5 |
| G7: | 5.5% | 5 |
| Total | | 35 |

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Muestreo:

Al ser de tipo no probabilístico por juicio o discrecional, porque se seleccionó a través del criterio profesional, basándose en la experiencia de estudios previos (antecedentes) consideramos las proporciones que se especificaron en la tabla 1.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnica:

La técnica de recopilación de datos fue de observación científica estructurada de laboratorio participante en equipo. Según Castro (2010) es de observación porque registra visualmente lo que ocurre, es estructurada porque se realiza con ayuda de bases técnicas apropiadas (observación sistemática), es de laboratorio participante porque el observador interactúa con la parte a observar en la realidad.

3.4.2. Instrumentos:

3.4.2.1. Instrumentos documentales y digitales

Fichas para registrar datos de cada prueba:

- ✓ Ensayo de desgaste por abrasión (Anexo 3).
- ✓ Inalterabilidad de los agregados al sulfato de magnesio. (Anexo 4).
- ✓ Equivalente de arena. (Anexo 5)
- ✓ Sales solubles en agregados (Anexo 6).
- ✓ Método de ensayo para determinación de partículas chatas y alargadas en agregado grueso. (Anexo 7)
- ✓ Análisis granulométrico de los agregados (Anexo 8).
- ✓ Contenido de humedad evaporable de los agregados (Anexo 9).
- ✓ Método de prueba estándar para densidad relativa (Gravedad específica) y absorción de agregado grueso. (Anexo 10)
- ✓ Método de prueba estándar para densidad relativa (Gravedad específica) y absorción de agregado fino. (Anexo 11)
- ✓ Prueba de estabilidad y flujo de Marshall y porcentaje de vacíos (12,13,14 y 15).

3.4.2.2. Instrumentos mecánicos

Estos ensayos fueron realizados en el laboratorio de mecánica de suelos.

Para el ensayo de desgaste por abrasión:

- ✓ Máquina de Los Ángeles (MTC E 207)
- ✓ Tamices (NTP 350.001)
- ✓ Balanza
- ✓ Carga (12 esferas de acero de 47 mm)

Para el ensayo de inalterabilidad de los agregados al sulfato de magnesio:

- ✓ Tamices (NTP 350.001)
- ✓ Reguladores de temperatura
- ✓ Balanza
- ✓ Horno de secado
- ✓ Equipo para medida de peso específico de las soluciones.

Para el ensayo de sales solubles en agregados:

- ✓ Balanza analítica
- ✓ Calentador
- ✓ Plancha de calentamiento

Para el método de ensayo para determinación de partículas chatas y alargadas en agregado grueso:

- ✓ Dispositivo calibrador proporcional
- ✓ Balanza

Análisis granulométrico:

- ✓ Balanza
- ✓ Tamices
- ✓ Horno

Para el ensayo de contenido de humedad evaporable de los agregados:

- ✓ Balanza
- ✓ Horno ventilado
- ✓ Recipientes resistentes al calor

Para el ensayo de método de prueba estándar para densidad relativa (Gravedad específica) y absorción de agregado fino y agregado grueso:

- ✓ Picnómetro de vidrio
- ✓ Baño de agua a temperatura constante
- ✓ Termómetros de inmersión total
- ✓ Balanza
- ✓ Beaker

Prueba de estabilidad y flujo de Marshall y porcentaje de vacíos:

- ✓ Martillo Marshall
- ✓ Termómetro de alta temperatura
- ✓ Balanza
- ✓ Moldes cilíndricos
- ✓ Martillo de goma
- ✓ Perol
- ✓ Cocina
- ✓ Recipientes resistentes al calor

3.5. Procedimientos

Para el desarrollo del presente proyecto, como punto de partida se realizó la recolección de llantas en desuso desechadas en los tramos de la avenida Prolongación Unión y avenida América Sur (Trujillo), posterior a su acopio se las redujo de tamaño cortándolo en secciones, para poder transportarlas a Villa el salvador, en el sector de la cooperativa las vertientes, Prolongación de la Avenida Juan Velasco en la Ciudad de Lima en donde se les dio el mantenimiento de limpieza adecuado para su trituración en gránulos, los cuales quedaron retenidos en el tamiz N° 4; respecto a los demás materiales como son el agregado fino y el agregado grueso, fueron obtenidos de la cantera San Martín ubicada en la Carretera Panamericana Norte Km 570.5 El Milagro (Trujillo), por último el asfalto

fue brindado por el laboratorio JVC consultoría geotecnia, en el cual se realizó todos los ensayos que se detallan en este desarrollo.

Las consideraciones previas a la realización de los dos diseños (patrón asfalto y experimental modificado con caucho) tuvieron como pilares los siguientes criterios: ensayos mencionados a continuación, elaboración de briquetas, ya detallas previamente, cumpliendo con los parámetros de diseño del método Marshall MTC E504, dichos parámetros se utilizaron en ambos grupos, los cuales fueron: 5 briquetas grupo control y 30 briquetas experimentales, luego se acondiciono los agregados y materiales a utilizar, de los que ya se mencionó su procedencia al inicio, en adición se aseguró que cumpliesen con los parámetros de calidad certificados por su centro de acopio.

Se redactó en forma breve una descripción de los pasos a seguir en la realización de los ensayos en forma general, permitió una secuencia en la explicación de cada proceso de forma individual:

1. Ensayo de desgaste de los agregados con tamaños menores a 1"1/2 por abrasión ASTM C131.
2. Aplicación de la inalterabilidad de los agregados al sulfato de sodio o magnesio ASTM C88.
3. Ensayos de equivalente de arena ASTM D2419, para realizar los ensayos de análisis granulométricos de los agregados gruesos y finos.
4. Ensayos de contenido de sales solubles en agregados MTC E219
5. Método de ensayo para la determinación de partículas chatas y alargadas en agregado Grueso ASTM D4791.
6. Análisis granulométrico. MTC E204.
7. Contenido de humedad evaporable de los agregados ASTM C566-19.
8. Métodos de prueba estándar para densidad relativa y absorción de agregado fino ASTM C128 y grueso ASTM C127.
9. Diseño de mezcla asfáltica en caliente con asfalto 60/70 con las siguientes proporciones: 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5%, para hallar el

óptimo contenido de asfalto que sería considerado el grupo control (0% de caucho)

10. Determinar la estabilidad, flujo, densidad, porcentaje de vacíos total de la mezcla (VTM), porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) y porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica en caliente patrón.
11. Diseño de mezcla asfáltica patrón en caliente modificada con caucho en las siguientes proporciones: 0.5%, 1%, 2.5%, 3.5%, 4.5% y 5.5%.
12. Determinar la estabilidad, flujo, densidad, porcentaje de vacíos total de la mezcla (VTM), porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) y porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica patrón en caliente modificada con caucho.

Como punto número 1 de esta experimentación se tuvo al ensayo de abrasión de los ángeles (L.A.) ASTM C 131, en cual se utilizó los siguientes aparatos y materiales: máquina de los ángeles, balanza electrónica, tamices, horno, agregado grueso y agregado fino. El procedimiento fue el siguiente: una vez se reunió y separó por categorías los materiales necesarios, se procedió a lavar la muestra para liberarlo de los finos, los cuales pueden afectar los resultados si no se tiene en consideración este paso, luego la muestra fue llevada al horno a una temperatura de 110 ± 5 °C, hasta que su masa fue constante, esto se verificó que en intervalos de tiempo se mantuviese constante, una vez se retiró la muestra y se dejó enfriar, se tamizó para obtener las masas requeridas para el ensayo (estas están definidas en la norma ASTM C 131 y se acopla a lo requerido en el ensayo), el material retenido en cada malla se dispuso en un recipiente individual por cada categoría, una vez tarada la balanza se pasó a pesar las muestras obtenidas en cada número de malla hasta conseguir la cantidad requerida en la norma siendo esta de 2.5 kg, una vez realizado estos pasos previos al ensayo, se coloca en el tambor de la máquina de los ángeles la muestra que se seleccionó, pasos previos, junto con las esferas de acero, se colocó la tapa y se verificó que esté completamente cerrado para evitar pérdidas , se programó la velocidad entre 30 rpm a 33 rpm con un número de 500

revoluciones, finalizado esto se descargó el material en una bandeja de la parte inferior del equipo y se empezó a tamizar por el tamiz de 1,70 mm (N° 12), el material más grueso que este número de malla, se lavó para eliminar los finos y seco en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C, hasta que su masa fue constante, para finalizar se registró el peso de la muestra final, con esto se pudo calcular el porcentaje de desgaste al que es susceptible este agregado.

El siguiente ensayo que se realizó es el de inalterabilidad de los agregados al sulfato de sodio o magnesio ASTM C-88 NTP-400.016 AASHTO T-104 MTC E-209, el cual permitió determinar la solidez del grano de los agregados cuando están sujetos a la acción de desgaste, el materiales y equipos que se utilizaron fueron los siguientes: agregado grueso (3/8", 1/2", 3/4", 1", 1 1/2", 2" y 2 1/2"), agregado fino (N° 50, N°30, N°16, N°8 y N°4), recipientes metálicos (para poder sumergir los agregados), balanza con sensibilidad de 0.1g, horno con temperatura de 110 ± 5 °C; luego se pasó a preparar la solución de sulfato de sodio en las proporciones de 350 g de sulfato de sodio en 1 litro de agua entre una temperatura de 25 °C a 30°C, esta mezcla se mantuvo en frecuente movimiento hasta el momento que se utilizó, para garantizar su consistencia, evitando así una mayor evaporación, en adición se aisló el recipiente para evitar contaminación, esta mezcla se dejó en reposo 48 horas a 21 ± 1 °C antes de ser utilizada, también se tuvo en cuenta que el peso específico este entre 1.51 a 1.74 g/cm³; para el agregado fino la muestra comprendió los tamaños de malla desde 3/8" hasta N° 50, contando con 100 g retenido en cada malla respectivamente (considerando solamente el contenido de 5 % o más en cada tamiz), se empezó lavando la muestra sobre la malla N° 100, la cual se secó en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C y se separó las muestras obtenidas en los tamices especificados 100 g en cada nivel; para el agregado grueso la muestra comprendió el tamaño de malla desde 2 1/2" hasta N° 4 con la misma acotación de que solamente se consideró el contenido de 5% o más en cada tamiz, se repitió los mismos pasos que en el agregado fino , los cuales se detalló previamente; finalmente para someter las muestras

seleccionadas al ensayo se empezó sumergiéndolas ,ya separadas en cada recipiente, en la solución de sulfato de sodio (se tomó en cuenta que dicha solución debe sumergir completamente la muestra como mínimo 1.3 cm por encima de la misma), ya preparada anteriormente, se aisló y cubrió cada recipiente para mantenerlo libre de contaminantes externos vigilando a su vez que la temperatura oscile en un aproximado a 21 ± 1 °C ,esto se dejó en reposo durante 18 horas, una vez se cumplió el tiempo de inmersión se retiró la solución de cada muestra dejándola filtrarse durante 15 ± 5 min, luego se pasó a secar al horno a una temperatura de 110 ± 5 °C, se controló el peso de la muestra luego de 8 horas y luego de 16 horas lo cual sirvió para verificar si el peso era constante, se debe considerar constante si en cada medición el peso no difiere de 0.1 g en el caso del agregado fino o 1 g en caso del agregado grueso, una vez se obtuvo el peso constante se dejó enfriar a temperatura ambiente, posterior a eso se volvió a sumergir la mezcla en la solución hasta completar los 5 ciclos; cuando finalizo los ciclos requeridos se lavó la muestra con agua caliente hasta dejarla libre del sulfato de sodio, se utilizó para los últimos lavados el agua destilada y cloruro bórico ($BaCl_2$), se procedió a secar a una temperatura constante de 110 ± 5 °C para luego pesarlo, se vuelve a tamizar los agregados en los tamices en los que quedaron retenidos inicialmente.

Para los ensayos de equivalencia de arena ASTM D2419 MTC E114, el cual permitió indicar las proporciones relativas de los suelos (arcillosos, finos plásticos y granulares) que pasaron por la malla N°4, durante el proceso una de las consideraciones que se tuvo es la temperatura, la cual para una buena trabajabilidad tuvo que ser de 22 ± 3 °C. Para el inicio del ensayo, se tomaron 3 muestras de 150 gr cada una, para ponerlas al horno; una vez secas, se preparó las probetas con agua destilada una cantidad de 4", para luego agregar la muestra y proceder a la agitación de manera mecánica, dejando luego en reposo por 20 minutos para luego apisonarlas. Y verificar las lecturas.

El contenido de sales solubles en los agregados MTC 219-2000, se determinó el contenido de sulfatos y cloruros solubles en agua, para los agregados pétreos que fueron utilizados en las bases de las mezclas bituminosas, para esto, se procedió a realizar la extracción de la muestra a trabajar teniendo en consideración las cantidades mínimas, para luego secar la muestra.

En los ensayos de partículas chatas y alargadas ASTM D4791, se describió la determinación de los índices de aplanamiento y de alargamiento en los agregados gruesos, se tomó la muestra de agregados y se separó por cuarteo, se realizó el tamizado, para separar por diámetros, finalmente se hizo uso del calibrador para medir y describir que tipo de agregado es con dicho instrumento.

Luego se dio lugar al ensayo granulométrico de los agregados MTC E204 - ASTM C136 - AASHTOT27, se realizó para que se pueda determinar la distribución de las partículas de los agregados finos y gruesos por sus tamaños. Se utilizó los tamices (3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4". n°4, n°8, n°10, n°16, n°20, n°30, n°40, n°50, n°60, n°80, n°100 y n°200) para proceder a verter los agregados, y mezclar por un promedio de 10 minutos y luego retirar los tamices, para poder pesar las cantidades retenidas por cada uno de ellos y proceder al llenado de nuestros resultados.

Los ensayos de gravedad y absorción, donde se realizaron las pruebas de contenido de humedad evaporable de los agregados ASTM C566, el método de prueba estándar para la densidad relativa y absorción de agregado fino y grueso (ASTM C128 y C127 respectivamente). Para el contenido de humedad, una vez pesada la muestra a trabajar, se realizó un secado, con el cuidado de no desperdiciar material. El secado debe ser a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ evitando así, que la muestra sufra la alteración de sus características, para finalmente pesar el material ya seco con una en una balanza con una precisión de 0.1%. Por otro lado, los ensayos de densidad y absorción, permitió determinar la gravedad específica, siendo la relación de la densidad del agregado (fino o grueso)

y la del agua. Para los ensayos del agregado fino, se utilizó la muestra (aproximadamente 1 kg) y se procedió a ponerla en el horno para su secado, teniendo en cuenta la temperatura de 110 ± 5 °C, para luego enfriarla en temperatura ambiente. Una vez estuvo la muestra seca, se humedeció por 20 ± 4 horas aproximadamente, y luego a ello se vertió el agua con cuidado para evitar las pérdidas de finos, posterior a eso ya se pudo pasar a secar expandiendo el agregado húmedo, hasta lograr obtener una muestra con condición superficialmente seca, realizando así la prueba superficialmente húmeda del agregado, consistiendo en agregar la muestra en un molde que no tenga una superficie absorbente, ubicando la muestra con el diámetro inferior hacia arriba para luego proceder a apisonar una cantidad de 25 golpes, retirar y verificar la muestra, si esta mantiene su forma cónica, volveremos a repetir el procedimiento secando más la muestra hasta esperar que los agregados se disgreguen para obtener la condición superficialmente seca. Por otro lado, para el agregado grueso, se procedió a realizar un tamizado, rechazando la malla N°4, una vez obtenida la muestra, se realizó el lavado para eliminar el polvo o recubrimientos en los agregados, se pasó a poner al horno a una temperatura de 110 ± 5 °C, por un tiempo de 4 horas, y se dejó enfriar la muestra en un lapso de 3 horas, para su posterior lavado, se secó de manera manual y se pesó en su condición saturado superficialmente seco, luego se procedió a poner la muestra en la canastilla, para determinar la masa sumergida en agua a una temperatura de 23 ± 2 °C, removiendo las piedras para eliminar las partículas y aire atrapado, se volvió a secar la muestra en el horno, seguidamente se dejó secar en temperatura de ambiente por 3 horas aproximadamente, para finalmente pesar y tomar los datos obtenidos.

Teniendo ya los porcentajes de los agregados, se utilizó el método del tanteo para obtener el óptimo contenido de asfalto de la muestra, que generalmente oscila entre 4 a 7 % de emulsión asfáltica (pen 60/70) para luego dejarlos secar por 24 horas antes de ser llevados para la realización de los ensayos de estabilidad y flujo Marshall. Luego de conseguir el óptimo deseado de asfalto, se procedió a reemplazar el agregado fino por

los porcentajes de caucho especificados, para luego realizar el mezclado de una temperatura mayor a 120°C para luego verterlo en el molde y realizar los 75 golpes con el martillo Marshall, realizando 5 briquetas de cada porcentaje (0%, 0.5%, 1%, 2.5%, 3.5%, 4.5% y 5.5%) para luego dejarlos secar por 24 horas antes de ser llevados para la realización de los ensayos de estabilidad y flujo Marshall.

3.6. Método de análisis de datos

Se utilizo como criterios principales lo establecido en las normas NTP, ASTM y MTC, ya especificadas en cada caso, posterior a eso se empleo el programa Microsoft Excel, ya que permite organizar la información en diferentes formatos de visualización favoreciendo a una mejor interpretación de datos obtenidos.

3.7. Aspectos éticos

Según Giménez (2016), la ética profesional no es un listado de prohibiciones sino una reflexión sobre cada aspecto de nuestra vida diaria que nos permitirá desarrollarlas plenamente. Podemos relacionar distintos aspectos éticos con la profesión de ingeniería civil puesto que se genera con los códigos éticos cuando una actividad se vuelve una profesión. Estos códigos limitan el actuar de los ingenieros ya que les permite argumentar sobre distintas posiciones lo cual evita que realicen acciones en contra a la profesión. Podemos decir que el código ético en el ámbito de la ingeniería civil que más impacto ha tenido es del American Society of Civil Engineers (ASCE, 2006), el cual tiene cuatro pilares: aplicar el conocimiento y las capacidades de la profesión al progreso del bienestar humano y cuidado del medio ambiente, servir honestamente con justicia y lealtad a la sociedad, al empleador y a los clientes, incrementar las capacidades y el prestigio de la ingeniería profesionalmente, apoyarse mutuamente entre organizaciones del mismo rubro. De todo esto recalcamos que la elaboración de este proyecto implica un compromiso de veracidad y transparencia de parte de los investigadores, los mismos que ponen en compromiso el

cumplimiento de todos los principios que la carrera, universidad y la ética personal requieren.

IV. RESULTADOS

4.1. Estudio de mecánica de suelos.

4.1.1. Ensayo de desgaste por abrasión.

La finalidad de este método de ensayo normalizado fue el de determinar el desgaste de los agregados empleados en la mezcla asfáltica, estimando el efecto perjudicial en materiales baja resistencia /alteración en un proceso de abrasión. Referencias normativas: NTP 400.019

Tabla 7. Ensayo de desgaste por abrasión ASTM C 131.

| TAMIZ PASA - RETIENE | GRADACIÓN | | | | |
|---------------------------|---------------|------------------------|-----------------|-----------------|-----------|
| | "A" | "B" | "C" | | "D" |
| 1 1/2" - 1" | 1250 ± 25 | - | - | | - |
| 1" - 3/4" | 1250 ± 25 | - | - | | - |
| 3/4" - 1/2" | 1250 ± 10 | 2500 ± 10 2500 ± 10 | - | | - |
| 1/2" - 3/8" | 1250 ± 10 | | - | | - |
| 3/8" - 1/4" | | | | | - |
| 1/4" - N°4 | | | 2500 ± 10 | 2,502.00 | - |
| N°4 - N°8 | | | 2500 ± 10 | 2,498.00 | 5000 ± 10 |
| ESFERAS | 12 | 11 | 8 | | 6 |
| PESO DE LA MUESTRA | | | 5,000.00 | | |
| Peso Retenido Tamiz N° 12 | | | 4,124.40 | | |
| Peso Pasante Tamiz N° 12 | | | 875.6 | | |
| % DESGASTE | | | 17.51 | | |
| PROMEDIO | 17.50% | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Inalterabilidad de los agregados al sulfato de magnesio.

Este ensayo tiene como final predecir posibles grietas ocasionadas por el agua atrapada en los poros del agregado, porque puede ocasionar esto al expandirse. La norma indica que los agregados en climas helados después de 5 ciclos (del ensayo) no deberían perder más del 10% y 12% como máximo, para el agregado fino y grueso respectivamente; referencias normativas: *MTC E 209* y *NTP 400.016*

Tabla 8. Agregado fino sumergido en sulfato de magnesio ASTM C 88.

| AGREGADO FINO | | | | | | | |
|-----------------|----------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------|--|---------------------------------------|-------------------------------|
| Tamaño de malla | | Escalón original % | Peso antes del ensayo Grs. | Peso después del ensayo Grs. | Pérdida de peso después del ensayo Grs. | % de perdidas después del ensayo % | % de perdidas corregidas % |
| Pasante | Retenido | | | | | | |
| 3/8" | N° 4 | 3.2 | | | | 3.35 | 0.11 |
| N° 4 | N° 8 | 23.6 | 100 | 91 | 9 | 9 | 2.12 |
| N° 8 | N° 16 | 25.5 | 101 | 91.3 | 8.7 | 8.7 | 2.22 |
| N° 16 | N° 30 | 19.9 | 102 | 92 | 8 | 8 | 1.59 |
| N° 30 | N° 50 | 20.8 | 103 | 94.4 | 5.6 | 5.6 | 1.16 |
| N° 50 | N° 100 | 12.2 | 104 | 91.6 | 8.4 | 8.4 | 1.02 |
| < N° 100 | | 0.8 | | | | | |
| TOTALES | | | | | | | 8.23 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Agregado grueso sumergido en sulfato de magnesio ASTM C 88.

| AGREGADO GRUESO | | | | | | | |
|-----------------|----------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------|--|---------------------------------------|-------------------------------|
| TAMAÑO DE MALLA | | Escalón original % | Peso antes del ensayo Grs. | Peso después del ensayo Grs. | Pérdida de peso después del ensayo Grs. | % de perdidas después del ensayo % | % de perdidas corregidas % |
| Pasante | Retenido | | | | | | |
| 2 1/2" | 1 1/2" | | | | | 5.2 | 0 |
| 1 1/2" | 3/4" | 31.3 | 675 | 642.8 | 32.2 | 4.77 | 1.48 |
| 3/4" | 3/8" | 36.8 | 300 | 271.4 | 28.6 | 9.53 | 3.51 |
| 3/8" | N° 4 | 32.1 | 300 | 270.6 | 29.4 | 9.8 | 3.15 |
| < N° 4 | | | | | | | |
| TOTALES | | | | | | | 8.14 |

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Equivalente de arena.

Su finalidad radica en indicar las cantidades relativos de suelos arcillosos, polvos o finos que pasan la malla N° 4, basándose en su normativa: MTC E 114.

Tabla 4. *Equivalente de arena ASTM D 2419.*

| ITEM | DESCRIPCIÓN | ENSAYOS | | |
|------|---|-------------|-------------|-------------|
| 1 | Tamaño Máximo (mm) | 4.76 | 4.76 | 4.76 |
| 2 | Muestra N° | 1 | 2 | 3 |
| 3 | Hora de Entrada | 10:25 | 10:33 | 10:42 |
| 4 | Hora de Salida | 10:35 | 10:43 | 10:52 |
| 5 | Hora de Entrada | 10:37 | 10:45 | 10:54 |
| 6 | Hora de Salida | 10:57 | 11:05 | 11:14 |
| 7 | Altura Máxima de la Arena (Pulgadas) | 3.75 | 3.7 | 3.8 |
| 8 | Altura Máxima de Material Fino (Pulgadas) | 5.61 | 5.88 | 5.33 |
| 9 | Equivalente de Arena (%) | 66.8 | 62.9 | 71.3 |
| 10 | Equivalente de Arena Promedio (%) | 67 | | |

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. Contenido de sales solubles en agua.

Su función es determinar la permanencia y el tipo de sal restante, luego de la evaporación del agua en los agregados. Su normativa: MTC 219-2000

Tabla 11. *Contenido de sales agregado fino.*

| ITEM | DESCRIPCIÓN | ENSAYOS | 1 | 2 | 3 |
|------|----------------------------------|---------------|---------------|--------------|---|
| 1 | Recipiente gr. | | 1 | 2 | 3 |
| 2 | Masa (Biker 250 ml.) gr. | 104.26 | 103.54 | 103.6 | |
| 3 | Masa + Sal + Biker 250 ml. gr. | 104.27 | 103.55 | 103.6 | |
| 4 | Masa Sal gr. | 0 | 0 | 0 | |
| 5 | Masa de Agregado gr. | 100 | 100 | 100 | |
| 6 | Aforo de Agua Total gr. | 500 | 500 | 500 | |
| 7 | Volumen de Agua Utilizada % | 50 | 50 | 50 | |
| 8 | Sales Solubles % | 0.04 | 0.03 | 0.05 | |
| 9 | Promedio Sales Solubles % | 0.04 | | | |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. *Contenido de sales en agregado grueso.*

| ITEM | DESCRIPCIÓN | | ENSAYOS | | |
|------|--------------------------------|----------|---------------|---------------|---------------|
| | | | 1 | 2 | 3 |
| 1 | Recipiente | gr. | | | |
| 2 | Masa (Biker 250 ml.) | gr. | 105.88 | 103.65 | 104.82 |
| 3 | Masa + Sal + Biker 250 ml. | gr. | 105.9 | 103.66 | 104.84 |
| 4 | Masa Sal | gr. | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| 5 | Masa de Agregado | gr. | 500 | 500 | 500 |
| 6 | Aforo de Agua Total | gr. | 500 | 500 | 500 |
| 7 | Volumen de Agua Utilizada | % | 50 | 50 | 50 |
| 8 | Sales Solubles | % | 0.05 | 0.026 | 0.03 |
| 9 | Promedio Sales Solubles | % | 0.04 | | |

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5. Método de ensayo para determinación de partículas chatas y alargadas en agregado grueso.

Su función es separar e indicar los porcentajes en que se encuentra originalmente cada fragmento de roca en la muestra. Según su normativa: MTC E 223 y ASTM D 4791.

Tabla 13. *Partículas chatas y largas en masa ASTM D 4791.*

| TAMIZ (Pulg.) | ABERTURA (mm) | AGREGADO GRUESO | | Masa de partículas Chatas | Masa de partículas Alargadas | Masa de partículas Chatas y Alargadas | CHATAS Y ALARGADAS (5:1) | | |
|----------------------------------|---------------|---------------------|------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|-----|---------------|
| | | Masa Retenida Grad. | % Retenido | | | | Σ | (%) | (%) CORREGIDO |
| 2" | 50,8 | | 0 | | | | 0 | - | - |
| 1 1/2" | 38,1 | | 0 | | | | 0 | - | - |
| 1" | 25,4 | | 0 | | | | 0 | - | - |
| 3/4" | 19 | | 0 | | | | 0 | - | - |
| 1/2" | 12,7 | | 0 | | | | 0 | - | - |
| 3/8" | 9,5 | 917,86 | 39,8 | | 17,6 | | 17,6 | 1,9 | 0,8 |
| Nº 4 | 4,75 | 1390,46 | 60,2 | 21,4 | | 19,5 | 40,9 | 2,9 | 1,8 |
| MASA TOTAL DE LA MUESTRA: | | 2308,3 | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Partículas chatas y largas por conteo ASTM D 4791.

| TAMIZ (Pulg.) | ABERTURA (mm) | AGREGADO GRUESO | | Masa de partículas Chatas | Masa de partículas Alargadas | Masa de partículas Chatas y Alargadas | CHATAS Y ALARGADAS (5:1) | | |
|----------------------------------|---------------|---------------------|------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|-----|---------------|
| | | Masa Retenida Grad. | % Retenido | | | | Σ | (%) | (%) CORREGIDO |
| 2" | 50.8 | | 0 | | | | 0 | - | - |
| 1 1/2" | 38.1 | | 0 | | | | 0 | - | - |
| 1" | 25.4 | | 0 | | | | 0 | - | - |
| 3/4" | 19 | | 0 | | | | 0 | - | - |
| 1/2" | 12.7 | | 0 | | | | 0 | - | - |
| 3/8" | 9.5 | 768 | 33.3 | 17 | | 25 | 42 | 5.5 | 1.8 |
| Nº 4 | 4.75 | 467 | 20.2 | | 21 | | 21 | 4.5 | 0.9 |
| MASA TOTAL DE LA MUESTRA: | | 1235 | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

4.1.6. Análisis granulométrico:

Tiene como finalidad categorizar mediante tamices con abertura cuadrada las partículas de los agregados de un peso requerido en una muestra, su normativa se rige mediante NTP 400.012-MTC E 204-ASTM C136.

Tabla 3. Análisis granulométrico de los agregados.

| Tamiz | Abertura (mm) | Piedra Chancada | Arena Chancada | Arena Zarandeada | Filler | (%) | Especificaciones | | Observaciones |
|-----------------|---------------|-----------------|----------------|------------------|----------|------------|------------------|-------|---------------|
| | | | | | | | MAC 2 | MAC 1 | |
| % Combinaciones | | 38 | 33 | 28 | 1 | 100 | | | |
| 3" | 75 | | | | | | | | |
| 2 1/2" | 63 | | | | | | | | |
| 2" | 50 | | | | | | | | |
| 1 1/2" | 37.5 | | | | | | | | |
| 1" | 25 | | | | | | | | |
| 3/4" | 19 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | | |
| 1/2" | 12.5 | 67.3 | 100 | 100 | 100 | 87.6 | 80 - 100 | | |
| 3/8" | 9.5 | 46.2 | 100 | 100 | 100 | 79.6 | 70 - 88 | | |
| 1/4" | 6.3 | | | | | | | | |
| No4 | 4.75 | 3.8 | 97.6 | 93.4 | 100 | 60.8 | 51 - 68 | | |
| No8 | 2.36 | | | | | | | | |
| No10 | 2 | 0.6 | 72.8 | 79.5 | 100 | 47.5 | 38 - 52 | | % Agregados |
| No16 | 1.18 | | | | | | | | |
| No20 | 0.85 | | | | | | | | % Grava: 39.2 |
| No30 | 0.6 | | | | | | | | % Arena: 56.1 |
| No40 | 0.425 | | 19.7 | 61.7 | 96.8 | 24.7 | 17 - 28 | | % Fino: 4.7 |
| No50 | 0.3 | | | | | | | | |
| No60 | 0.25 | | | | | | | | |
| No80 | 0.18 | | 15.8 | 29.3 | 93.7 | 14.4 | Ago-17 | | |
| No100 | 0.15 | | | | | | | | |
| No200 | 0.075 | | 5.6 | 7.1 | 9.8 | 4.7 | 4-Ago | | |
| PASA | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

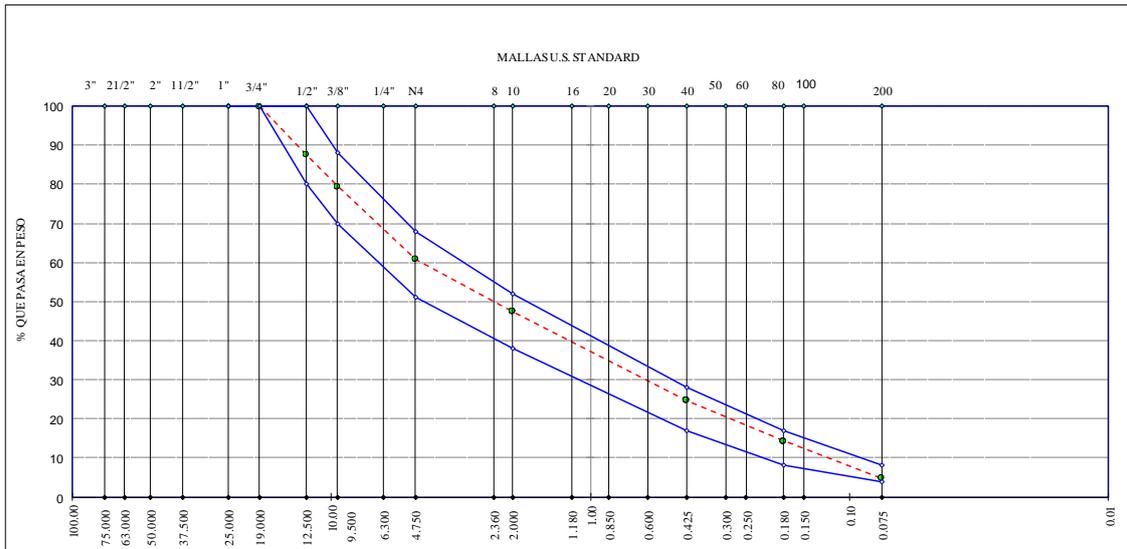


Figura 1. Curva granulométrica de los agregados finos y gruesos.

4.1.7. Contenido de humedad evaporable de los agregados.

Su función es indicar si el material aporta o no agua en sus poros (debido al ambiente climático de origen). Su referencia normativa: NTP 339.185 y MTC E 215.

Tabla 10. *Contenido de humedad promedio de agregado grueso y fino ASTM C566-19.*

| ITEM | DESCRIPCIÓN AGREGADO GRUESO | UND. | 1 | 2 |
|------|--------------------------------------|------|-------------|-------------|
| 1 | Masa del Recipiente | g | 105.3 | 104.8 |
| 2 | Masa del Recipiente + muestra húmeda | g | 739.2 | 811.1 |
| 3 | Masa del Recipiente + muestra seca | g | 727.9 | 798.5 |
| 4 | Contenido de Humedad | % | 1.81 | 1.82 |
| 4 | CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO | % | 1.82 | |
| ITEM | DESCRIPCIÓN AGREGADO FINO | UND. | DATOS | DATOS |
| 1 | Masa del Recipiente | g | 105.3 | 104.8 |
| 2 | Masa del Recipiente + muestra húmeda | g | 651.1 | 737.2 |
| 3 | Masa del Recipiente + muestra seca | g | 640.2 | 725.1 |
| 4 | Contenido de Humedad | % | 2.04 | 1.95 |
| 4 | CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO | % | 1.99 | |

Fuente: Elaboración propia.

4.1.8 Método de prueba estándar para densidad relativa (Gravedad específica) y absorción de agregado grueso.

Tabla 6. Método de prueba estándar para densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agregado grueso ASTM C 127-15.

| DATOS / N° DE PRUEBA | | | 1 | 2 |
|----------------------|---|--|--------|--------|
| A | Masa de la muestra seca en el horno (gr.) | | 1321.4 | 1275.5 |
| B | Masa de la muestra al aire SSD (gr.) | | 1327.8 | 1281.6 |
| C | Masa de la muestra sumergida (gr.) | | 835.8 | 805.4 |

| RESULTADOS | 1 | 2 | PROMEDIO |
|--|-------|-------|--------------|
| Densidad Relativa (Gravedad específica OD) | 2.685 | 2.679 | 2.682 |
| Densidad Relativa (Gravedad específica ssd) | 2.698 | 2.692 | 2.695 |
| Densidad Relativa Aparente (Gravedad específica) | 2.721 | 2.713 | 2.717 |
| Absorción (%) | 0.5 | 0.5 | 0.48 |

Fuente: Elaboración propia.

4.1.9 Método de prueba estándar para densidad relativa (Gravedad específica) y absorción de agregado fino.

Tabla 5. Método de prueba estándar para densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agregado fino ASTM C 128-15.

| ITEM | DATOS DE ENSAYO/ N° DE PRUEBA | 1 | 2 | |
|------|--|-------|-------|--------------|
| A | Masa secada al horno (gr.) | 296.6 | 296.6 | |
| B | Masa de picnómetro con agua hasta la marca (gr.) | 669.3 | 674.2 | |
| C | Masa de picnómetro con agua + muestra sss (gr.) | 855.6 | 860.5 | |
| S | Masa saturada con superficie seca (SSS) (gr.) | 300 | 300 | PROMEDIO |
| | Densidad Relativa (Gravedad específica OD) | 2.61 | 2.61 | 2.608 |
| | Densidad Relativa (Gravedad específica SSD) | 2.64 | 2.64 | 2.639 |
| | Densidad Relativa Aparente (Gravedad específica) | 2.69 | 2.69 | 2.689 |
| | Absorción (%) | 1.2 | 1.2 | 1.16 |

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Mezcla asfáltica patrón en caliente y mezcla asfáltica incorporando gránulos de caucho reciclado utilizando el método Marshall.

4.2.1. Diseño de mezcla asfáltica en caliente con PEN 60/70 al 4.5%, 5%,5.5%6% y 6.5%.

Este diseño tuvo como referencia normativa AASHTO T245-MTC E 504.

Tabla 15. Diseño de mezcla asfáltica en caliente con PEN 60/70.

| N° | N° de Especimen | A | | | B | | | C | | | D | | | E | | |
|----|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| | % asfalto en la mezcla | | | 4.5 | | | 5 | | | 5.5 | | | 6 | | | 6.5 |
| | % agregado grueso | 38% | | 36.3 | | | 36.1 | | | 35.9 | | | 35.7 | | | 35.5 |
| | % agregado fino | 61% | | 58.3 | | | 58 | | | 57.6 | | | 57.3 | | | 57 |
| | % filler | 1% | | 0.96 | | | 0.95 | | | 0.95 | | | 0.94 | | | 0.94 |
| 1 | % Cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb) | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 5 | 5 | 5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 6 | 6 | 6 | 6.5 | 6.5 | 6.5 |
| 2 | % Agregado grueso en peso de la mezcla (Ps) | 36.29 | 36.29 | 36.29 | 36.1 | 36.1 | 36.1 | 35.9 | 35.9 | 35.9 | 35.7 | 35.7 | 35.7 | 35.5 | 35.5 | 35.5 |
| 3 | % Agregado fino en peso de la mezcla (Ps) | 58.26 | 58.26 | 58.26 | 58 | 58 | 58 | 57.6 | 57.6 | 57.6 | 57.3 | 57.3 | 57.3 | 57 | 57 | 57 |
| 4 | % Filler en peso de la mezcla (Ps) | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 1 | 1 | 1 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| 5 | Gravedad especifica aparente (Gsa) cemento asfáltico | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 |
| 6 | Gravedad especifica seca bulk (Gsb) agregado grueso | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 |
| 7 | Gravedad especifica seca bulk (Gsb) agregado fino | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 |
| 8 | Gravedad especifica seca bulk (Gsb) filler | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 |
| 9 | Gravedad especifica seca aparente (Gsa) agregado grueso | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 |
| 10 | Gravedad especifica seca aparente (Gsa) agregado fino | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 |
| 11 | Gravedad especifica seca aparente (Gsa) filler | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 |
| 12 | Promedio A= (Gsa+Gsb)/2 del agregado grueso | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 |
| 13 | Promedio B= (Gsa+Gsb)/2 del agregado fino | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 |
| 14 | Promedio C= (Gsa+Gsb)/2 del agregado filler | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 |
| 15 | Altura promedio del especimen (cm) | 6.7 | 6.72 | 6.68 | 6.6 | 6.58 | 6.7 | 6.53 | 6.54 | 6.5 | 6.48 | 6.57 | 6.5 | 6.38 | 6.38 | 6.38 |
| 16 | Gravedad especifica seca Bulk de la combinacion de agregados | 2.606 | 2.606 | 2.606 | 2.606 | 2.606 | 2.606 | 2.606 | 2.606 | 2.606 | 2.606 | 2.606 | 2.606 | 2.606 | 2.606 | 2.606 |
| 17 | Gravedad especifica seca aparente de la combinacion de agregados | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--|--------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|
| 18 | Peso del especimen al aire, gr. Wd | 1216.2 | 1215.5 | 1217.8 | 1221.3 | 1224.5 | 1220.3 | 1226.9 | 1227.8 | 1230.2 | 1230.2 | 1229.6 | 1228.8 | 1224.5 | 1223.2 | 1221.5 |
| 19 | Peso del especimen en su condicion SSD en el aire.gr.Wssd | 1218.9 | 1218.1 | 1220 | 1223.6 | 1226.3 | 1222.6 | 1228.5 | 1229.6 | 1232.4 | 1232.2 | 1231.5 | 1230.6 | 1226.9 | 1225.6 | 1224.5 |
| 20 | Peso del especimen sumergido, gr. Wsub | 674.4 | 675.6 | 675.8 | 692.9 | 692 | 693.5 | 702.9 | 703 | 703.6 | 705.8 | 706 | 705.8 | 698.4 | 698 | 698 |
| 21 | Volumen del especimen | 544.5 | 542.5 | 544.2 | 530.7 | 534.3 | 529.1 | 525.6 | 526.6 | 528.8 | 526.4 | 525.5 | 524.8 | 528.5 | 527.6 | 526.5 |
| 22 | Gravedad especifica seca bulk del especimen Gmb | 2.234 | 2.241 | 2.238 | 2.301 | 2.292 | 2.306 | 2.334 | 2.332 | 2.326 | 2.337 | 2.34 | 2.341 | 2.317 | 2.318 | 2.32 |
| 23 | Gravedad especifica teorica maxima, rice. Gmm | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.416 | 2.416 | 2.416 | 2.398 | 2.398 | 2.398 | 2.381 | 2.381 | 2.381 |
| 24 | Porcentaje de vacios del total de la mezcla. VTM | 8.88 | 8.59 | 8.71 | 5.43 | 5.82 | 5.22 | 3.37 | 3.49 | 3.7 | 2.56 | 2.44 | 2.38 | 2.7 | 2.64 | 2.57 |
| 25 | Densidad de cada especimen Marshall, $\gamma = G_{mb} \times \delta w$ | 2.234 | 2.241 | 2.238 | 2.301 | 2.292 | 2.306 | 2.334 | 2.332 | 2.326 | 2.337 | 2.34 | 2.341 | 2.317 | 2.318 | 2.32 |
| 26 | % de vacios del agregado mineral, VMA | 18.1 | 17.9 | 18 | 16.1 | 16.4 | 15.9 | 15.3 | 15.4 | 15.6 | 15.7 | 15.6 | 15.5 | 16.9 | 16.8 | 16.7 |
| 27 | % de vacios llenos con asfalto, VFA | 51.1 | 51.9 | 51.6 | 66.3 | 64.6 | 67.2 | 78 | 77.4 | 76.3 | 83.7 | 84.3 | 84.7 | 84 | 84.3 | 84.6 |
| 28 | Gravedad especifica efectiva, Gse | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 |
| 29 | Gravedad especifica aparente de la combinacion de agregados, Gsa | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 |
| 30 | Gravedad especifica bulk de la combinacion de agregados, Gsb | 2.606 | 2.606 | 2.606 | 2.606 | 2.606 | 2.606 | 2.606 | 2.606 | 2.606 | 2.606 | 2.606 | 2.606 | 2.606 | 2.606 | 2.606 |
| 31 | Si Gsa>Gse>Gsb continuar con la verificacion | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 32 | Gravedad especifica teorica maxima, rice. | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.416 | 2.416 | 2.416 | 2.398 | 2.398 | 2.398 | 2.381 | 2.381 | 2.381 |
| 33 | Gravedad especifica teorica maxima, rice. Gmm | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.416 | 2.416 | 2.416 | 2.398 | 2.398 | 2.398 | 2.381 | 2.381 | 2.381 |
| 34 | Si 32=33, continuar con la verificacion | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 35 | % de vacios del agregado mineral, VMA | 18.1 | 17.9 | 18 | 16.1 | 16.4 | 15.9 | 15.3 | 15.4 | 15.6 | 15.7 | 15.6 | 15.5 | 16.9 | 16.8 | 16.7 |
| 36 | % de vacios del agregado mineral, VMA | 18.1 | 17.9 | 18 | 16.1 | 16.4 | 15.9 | 15.3 | 15.4 | 15.6 | 15.7 | 15.6 | 15.5 | 16.9 | 16.8 | 16.7 |
| 37 | Si 35=36, concluye la verificacion | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 38 | Estabilidad sin corregir (kg) | 638.8 | 726.8 | 693.3 | 1058 | 970 | 999 | 1271 | 1225 | 1209 | 1238 | 1313 | 1263 | 1020 | 940 | 1054 |
| 39 | Factor de estabilidad | 0.93 | 0.93 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 |
| 40 | Estabilidad corregida | 594.08 | 675.92 | 644.77 | 1015.68 | 931.2 | 959.04 | 1220.16 | 1176 | 1160.64 | 1188.48 | 1260.48 | 1212.48 | 979.2 | 902.4 | 1011.84 |
| 41 | Estabilidad corregida promedio | 638.26 | | | 968.64 | | | 1185.6 | | | 1220.48 | | | 964.48 | | |
| 42 | Flujo (0.01") | 9.68 | 9.35 | 9.91 | 12.45 | 11.43 | 12.57 | 11.68 | 13.84 | 13.97 | 14.99 | 13.92 | 13.97 | 15.29 | 15.24 | 14.99 |
| 43 | Flujo promedio (mm) | 9.64 | | | 12.15 | | | 13.16 | | | 14.29 | | | 15.17 | | |
| 44 | Densidad de cada especimen Marshall (gr/cm3), promedio | 2.237 | | | 2.3 | | | 2.3 | | | 2.339 | | | 2.318 | | |
| 45 | Porcentaje de vacios del total de la mezcla. VTM | 8.73 | | | 5.49 | | | 3.52 | | | 2.46 | | | 2.64 | | |
| 46 | Porcentaje de vacios del agregado mineral, VMA | 18 | | | 16.15 | | | 15.47 | | | 15.6 | | | 16.81 | | |
| 47 | Porcentaje de vacios llenos con asfalto, VFA | 51.53 | | | 66.04 | | | 77.26 | | | 84.24 | | | 84.29 | | |

Fuente: Elaboración propia.

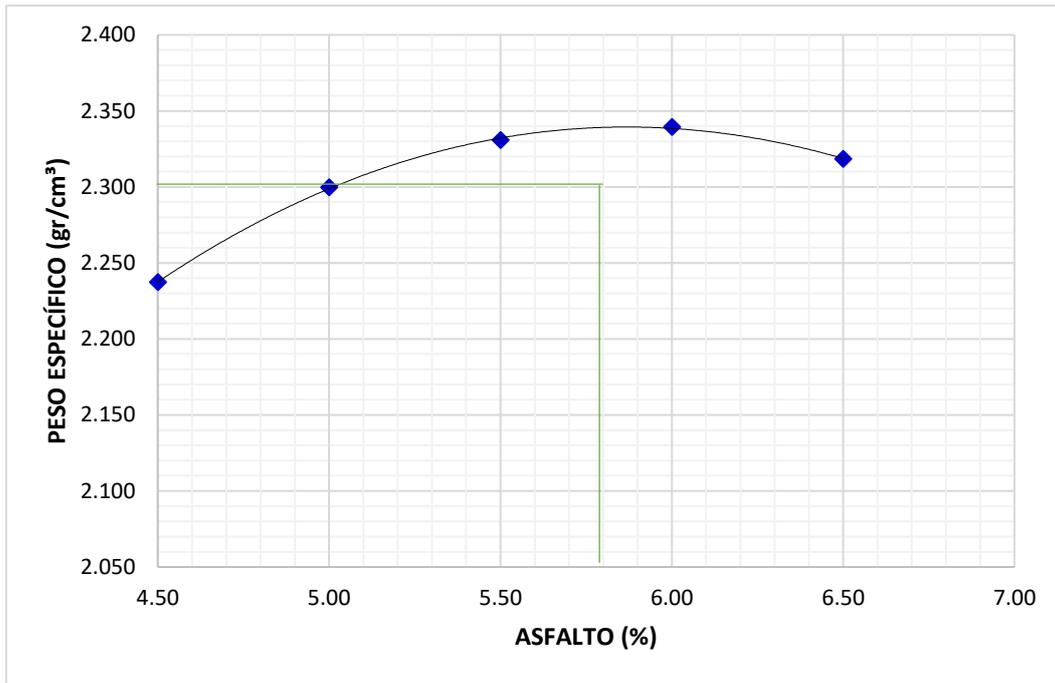


Figura 2. Relacion peso especifico (gr/cm³) vs asfalto (%).

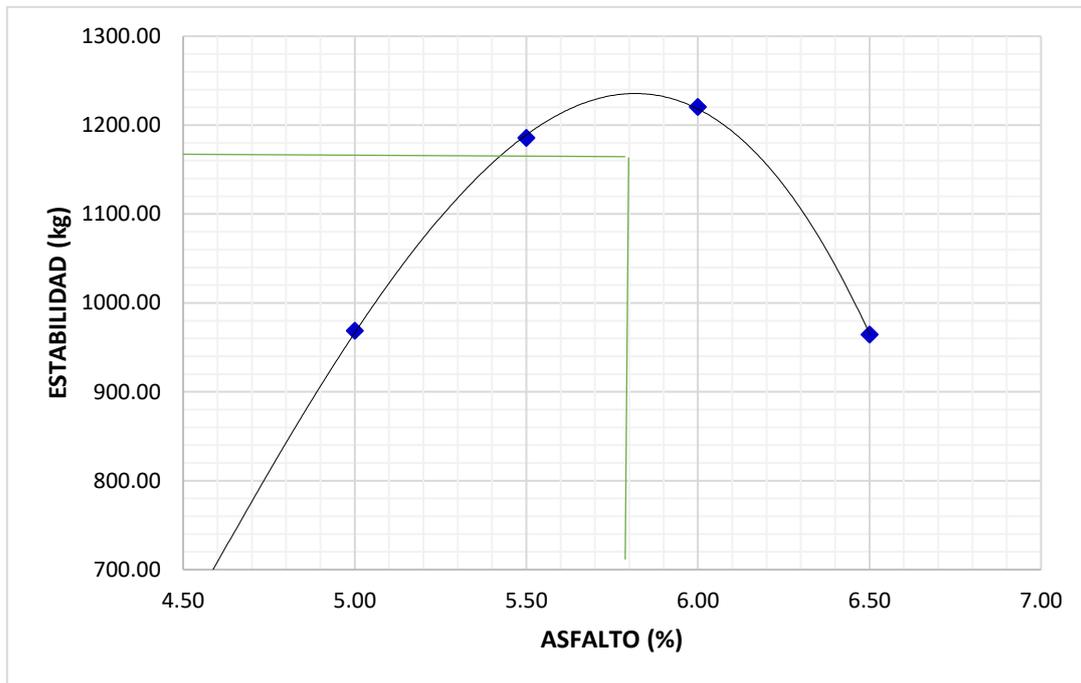


Figura 3. Relacion estabilidad (kg) vs asfalto (%).

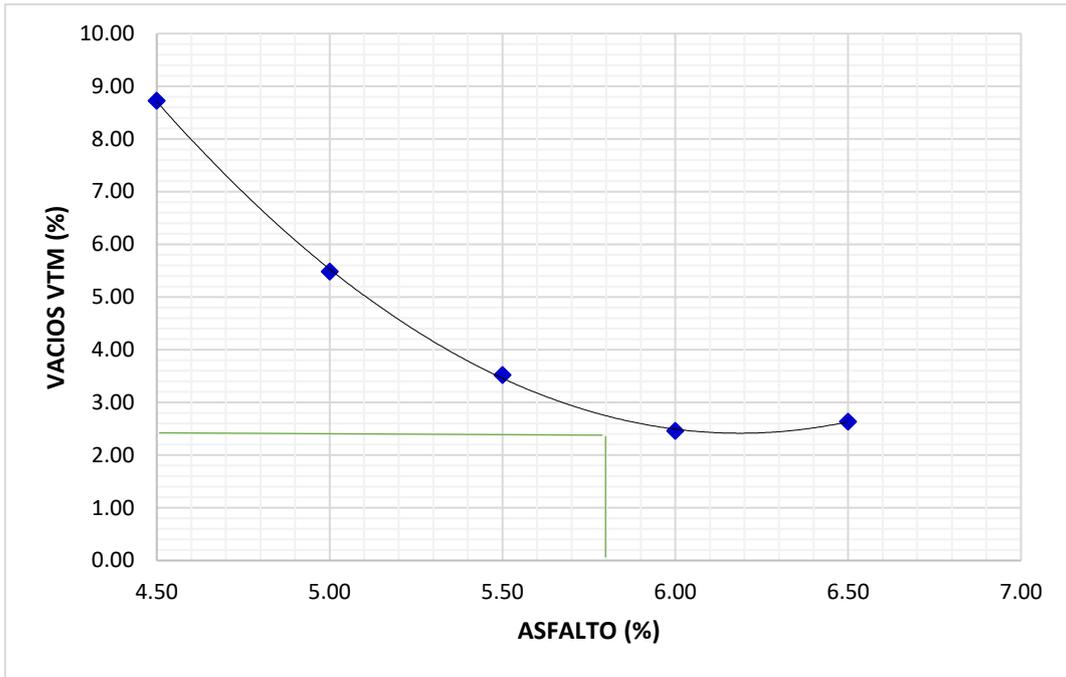


Figura 4. Relacion Vacios VTM (%) vs asfalto (%).

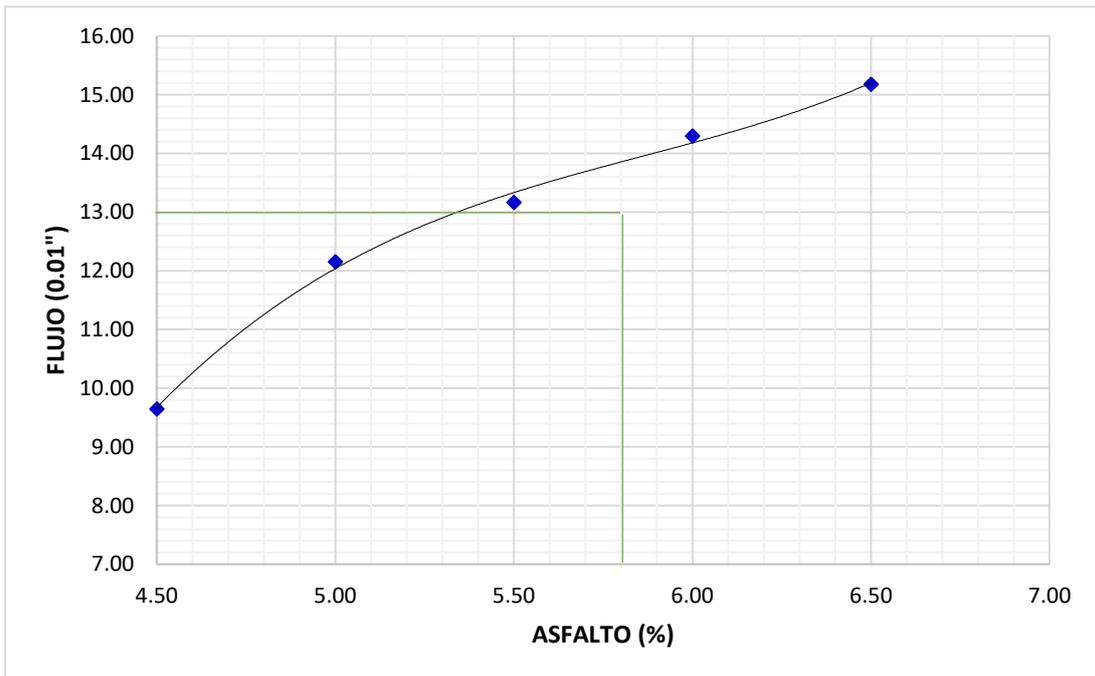


Figura 5. Relacion flujo (0.01'') vs asfalto (%).

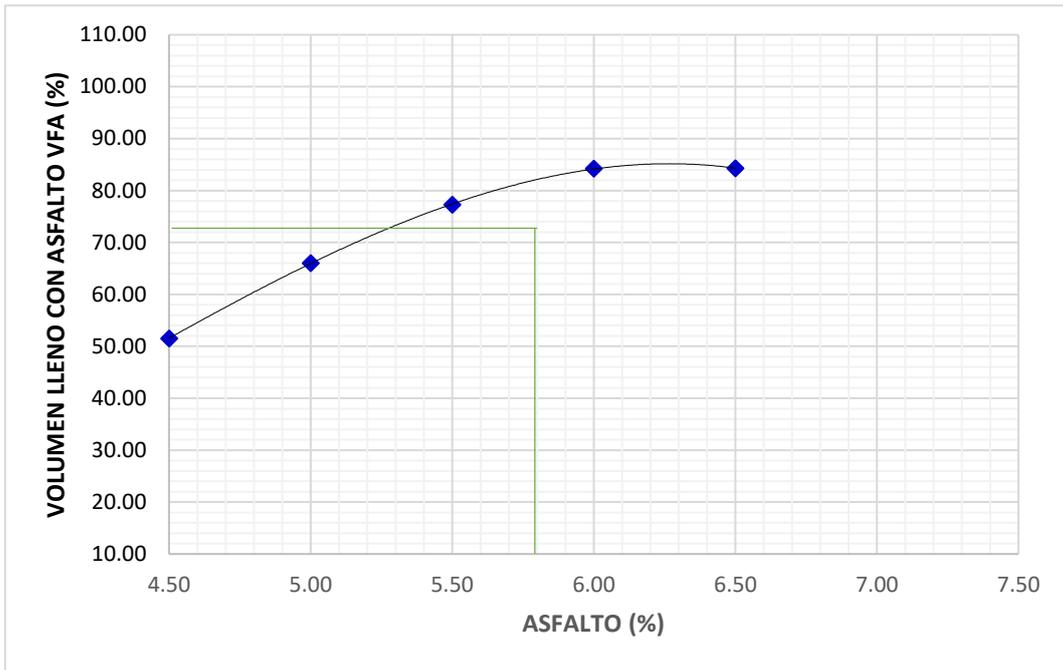


Figura 6. Relacion volumen lleno con asfalto VFA (%) vs asfalto (%).

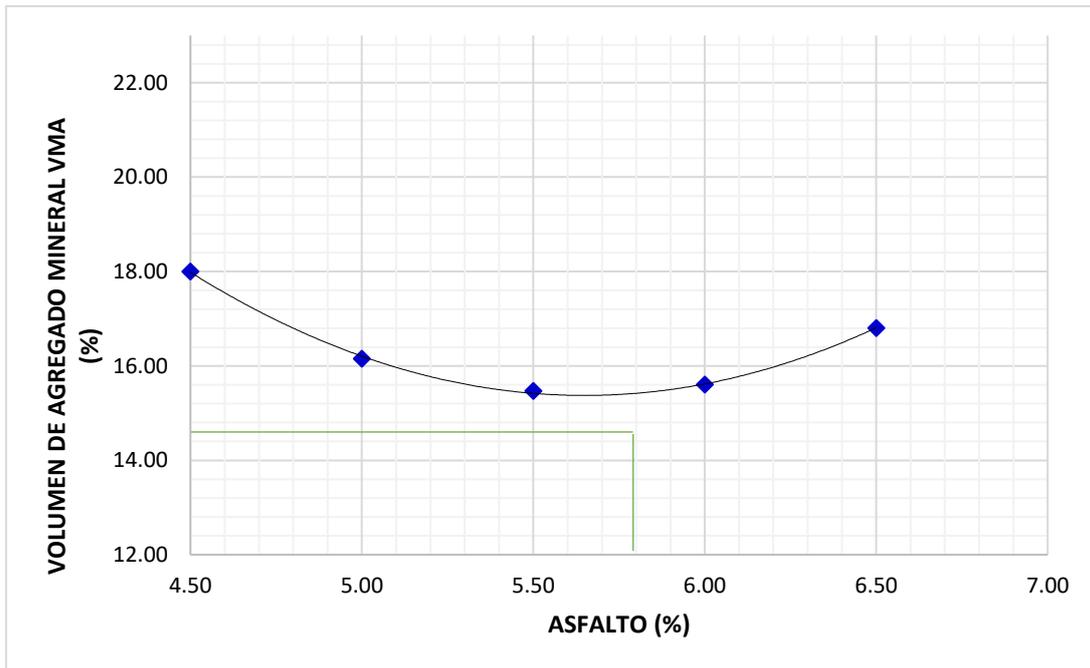


Figura 7. Relacion volumen de agregado mineral VMA (%) vs asfalto (%).

4.2.2. Diseño de mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho al 0.5%, 1%, 2.5%, 3.5%, 4.5% y 5.5%.

El diseño se rigió de las normativas AASHTO T245-MTC E 504-ASTM D 61114-97

Tabla 16. *Diseño de mezcla asfáltica en caliente con PEN 60/70.*

| N° | N° de Especimen | A | | | B | | | C | | | D | | | E | | | F | | |
|----|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| | % asfalto en la mezcla | | | 5.8 | | | 5.8 | | | 5.8 | | | 5.8 | | | 5.8 | | | 5.8 |
| | % agregado grueso | 38% | | 35.3 | | | 34.9 | | | 33.4 | | | 32.5 | | | 31.6 | | | 30.6 |
| | % agregado fino | 61% | | 57.5 | | | 57.5 | | | 57.5 | | | 57.5 | | | 57.5 | | | 57.5 |
| | % filler | 1% | | 0.94 | | | 0.94 | | | 0.94 | | | 0.94 | | | 0.94 | | | 0.94 |
| 1 | % del caucho reemplazante del agregado grueso | 0.50% | | | 1% | | | 2.50% | | | 3.50% | | | 4.50% | | | 5.50% | | |
| 2 | % de plastico en la muestra | 0.47 | | | 0.94 | | | 2.36 | | | 3.3 | | | 4.24 | | | 5.18 | | |
| 3 | % cemento asfáltico en peso de la mezcla (Pb) | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 |
| 4 | % agregado grueso en peso de la mezcla (Ps) | 35.3 | 35.3 | 35.3 | 34.9 | 34.9 | 34.9 | 33.4 | 33.4 | 33.4 | 32.5 | 32.5 | 32.5 | 31.6 | 31.6 | 31.6 | 30.6 | 30.6 | 30.6 |
| 5 | % agregado fino en peso de la mezcla (Ps) | 57.5 | 57.5 | 57.5 | 57.5 | 57.5 | 57.5 | 57.5 | 57.5 | 57.5 | 57.5 | 57.5 | 57.5 | 57.5 | 57.5 | 57.5 | 57.5 | 57.5 | 57.5 |
| 6 | % Filler en peso de la mezcla (Ps) | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| 7 | Gravedad especifica aparente (Gsa) cemento asfáltico | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 |
| 8 | Gravedad especifica seca bulk (Gsb) agregado grueso | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 |
| 9 | Gravedad especifica seca bulk (Gsb) agregado fino | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 |
| 10 | Gravedad especifica seca bulk (Gsb) filler | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 |
| 11 | Gravedad especifica seca aparente (Gsa) agregado grueso | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 |
| 12 | Gravedad especifica seca aparente (Gsa) agregado fino | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 |
| 13 | Gravedad especifica seca aparente (Gsa) filler | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 |
| 14 | Promedio A= (Gsa+Gsb)/2 del agregado grueso | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 |
| 15 | Promedio B= (Gsa+Gsb)/2 del agregado fino | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 |
| 16 | Promedio C= (Gsa+Gsb)/2 del agregado filler | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 17 | Altura promedio del espécimen (cm) | 6.38 | 6.4 | 6.39 | 6.35 | 6.35 | 6.35 | 6.36 | 6.35 | 6.36 | 6.45 | 6.46 | 6.5 | 6.55 | 6.54 | 6.6 | 6.5 | 6.5 | 6.5 |
| 18 | Gravedad específica seca Bulk de la combinación de agregados | 2.514 | 2.514 | 2.514 | 2.513 | 2.513 | 2.513 | 2.51 | 2.51 | 2.51 | 2.509 | 2.509 | 2.509 | 2.507 | 2.507 | 2.507 | 2.505 | 2.505 | 2.505 |
| 19 | Gravedad específica seca aparente de la combinación de agregados | 2.691 | 2.691 | 2.691 | 2.69 | 2.69 | 2.69 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.688 | 2.688 | 2.688 | 2.687 | 2.687 | 2.687 | 2.687 | 2.687 | 2.687 |
| 20 | Peso del espécimen al aire, gr. Wd | 1133.7 | 1136.8 | 1135.3 | 1131.8 | 1131 | 1139.2 | 1128.4 | 1130.5 | 1133.4 | 1135.7 | 1134.7 | 1135.6 | 1136.3 | 1134.3 | 1137.7 | 1132.2 | 1132.2 | 1132.2 |
| 21 | Peso del espécimen en su condición SSD en el aire, gr. Wssd | 1134.2 | 1137.5 | 1135.9 | 1132.6 | 1131.5 | 1139.7 | 1129.1 | 1131 | 1134.3 | 1136.4 | 1135.3 | 1136.5 | 1136.9 | 1134.9 | 1138.6 | 1132.3 | 1132.3 | 1132.3 |
| 22 | Peso del espécimen sumergido, gr. Wsub | 634.3 | 635.5 | 634.9 | 627.9 | 629.2 | 632.8 | 622.6 | 626.4 | 625.4 | 619 | 618.5 | 617.1 | 614.2 | 613.1 | 613.3 | 614.1 | 614.1 | 614.1 |
| 23 | Volumen del espécimen | 499.9 | 502 | 500.95 | 504.7 | 502.3 | 506.9 | 506.5 | 504.6 | 508.9 | 517.4 | 516.8 | 519.4 | 522.7 | 521.8 | 525.3 | 518.2 | 518.2 | 518.2 |
| 24 | Gravedad específica seca bulk del espécimen Gmb | 2.268 | 2.265 | 2.266 | 2.243 | 2.252 | 2.247 | 2.228 | 2.24 | 2.227 | 2.195 | 2.196 | 2.186 | 2.174 | 2.174 | 2.166 | 2.185 | 2.185 | 2.185 |
| 25 | Gravedad específica teórica máxima, rice. Gmm | 2.396 | 2.396 | 2.396 | 2.406 | 2.406 | 2.406 | 2.437 | 2.437 | 2.437 | 2.457 | 2.457 | 2.457 | 2.478 | 2.478 | 2.478 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| 26 | Porcentaje de vacíos del total de la mezcla. VTM | 5.36 | 5.5 | 5.43 | 6.8 | 6.42 | 6.6 | 8.57 | 8.05 | 8.59 | 10.67 | 10.64 | 11.02 | 12.28 | 12.28 | 12.6 | 12.59 | 12.59 | 12.59 |
| 27 | Densidad de cada espécimen Marshall, $\gamma = G_{mb} \times \delta_w$ | 2.268 | 2.265 | 2.266 | 2.243 | 2.252 | 2.247 | 2.228 | 2.24 | 2.227 | 2.195 | 2.196 | 2.186 | 2.174 | 2.174 | 2.166 | 2.185 | 2.185 | 2.185 |
| 28 | % de vacíos del agregado mineral, VMA | 15 | 15.1 | 15.1 | 15.9 | 15.6 | 15.8 | 16.4 | 15.9 | 16.4 | 17.6 | 17.5 | 17.9 | 18.3 | 18.3 | 18.6 | 17.8 | 17.8 | 17.8 |
| 29 | % de vacíos llenos con asfalto, VFA | 64.3 | 63.7 | 64 | 57.3 | 58.8 | 58.1 | 47.8 | 49.5 | 47.7 | 39.3 | 39.3 | 38.4 | 32.9 | 32.9 | 32.3 | 29.4 | 29.4 | 29.4 |
| 30 | Gravedad específica efectiva, Gse | 2.616 | 2.616 | 2.616 | 2.629 | 2.629 | 2.629 | 2.667 | 2.667 | 2.667 | 2.693 | 2.693 | 2.693 | 2.72 | 2.72 | 2.72 | 2.748 | 2.748 | 2.748 |
| 31 | Gravedad específica aparente de la combinación de agregados, Gsa | 2.691 | 2.691 | 2.691 | 2.69 | 2.69 | 2.69 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.688 | 2.688 | 2.688 | 2.687 | 2.687 | 2.687 | 2.687 | 2.687 | 2.687 |
| 32 | Gravedad específica bulk de la combinación de agregados, Gsb | 2.514 | 2.514 | 2.514 | 2.513 | 2.513 | 2.513 | 2.51 | 2.51 | 2.51 | 2.509 | 2.509 | 2.509 | 2.507 | 2.507 | 2.507 | 2.505 | 2.505 | 2.505 |
| 33 | Si $G_{sa} > G_{se} > G_{sb}$ continuar con la verificación | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 34 | Gravedad específica teórica máxima, rice. | 2.396 | 2.396 | 2.396 | 2.406 | 2.406 | 2.406 | 2.437 | 2.437 | 2.437 | 2.457 | 2.457 | 2.457 | 2.478 | 2.478 | 2.478 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| 35 | Gravedad específica teórica máxima, rice. Gmm | 2.396 | 2.396 | 2.396 | 2.406 | 2.406 | 2.406 | 2.437 | 2.437 | 2.437 | 2.457 | 2.457 | 2.457 | 2.478 | 2.478 | 2.478 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| 36 | Si 35=36, continuar con la verificación | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 37 | % de vacíos del agregado mineral, VMA | 15 | 15.1 | 15.1 | 15.9 | 15.6 | 15.8 | 16.4 | 15.9 | 16.4 | 17.6 | 17.5 | 17.9 | 18.3 | 18.3 | 18.6 | 17.8 | 17.8 | 17.8 |
| 38 | % de vacíos del agregado mineral, VMA | 15.4 | 15.6 | 15.5 | 16.8 | 16.4 | 16.6 | 18.5 | 18 | 18.5 | 20.5 | 20.4 | 20.8 | 22 | 22 | 22.3 | 22.4 | 22.4 | 22.4 |
| 39 | Si 38=39, concluye la verificación | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 40 | Estabilidad sin corregir (lb) | 2300 | 2290 | 2295 | 2250 | 2500 | 2350 | 2545 | 2540 | 2130 | 2480 | 2458 | 2560 | 2750 | 2545 | 2750 | 2550 | 2550 | 2550 |
| 41 | Factor de estabilidad | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.96 | 1 | 1 | 1 |
| 42 | Estabilidad corregida | 2392 | 2381.6 | 2386.8 | 2340 | 2600 | 2444 | 2646.8 | 2641.6 | 2215.2 | 2480 | 2458 | 2560 | 2750 | 2545 | 2640 | 2550 | 2550 | 2550 |
| 43 | Estabilidad corregida promedio | 2386.8 | | | 2461.33 | | | 2501.2 | | | 2499.33 | | | 2645 | | | 2550 | | |
| 44 | Flujo (0.01") | 3.56 | 3.53 | 3.54 | 2.79 | 2.84 | 4.06 | 2.92 | 5.33 | 4.06 | 4.32 | 4.06 | 3.56 | 4.06 | 4.06 | 3.56 | 4.57 | 4.57 | 4.57 |
| 45 | Flujo promedio (mm) | 3.54 | | | 3.23 | | | 4.11 | | | 3.98 | | | 3.89 | | | 4.57 | | |
| 46 | Densidad de cada espécimen Marshall (gr/cm ³), promedio | 2.266 | | | 2.247 | | | 2.232 | | | 2.192 | | | 2.171 | | | 2.185 | | |
| 45 | Porcentaje de vacíos del total de la mezcla. VTM | 5.43 | | | 6.61 | | | 8.4 | | | 10.78 | | | 12.39 | | | 12.59 | | |
| 46 | Porcentaje de vacíos del agregado mineral, VMA | 15.07 | | | 15.76 | | | 16.25 | | | 17.67 | | | 18.41 | | | 17.84 | | |
| 47 | Porcentaje de vacíos llenos con asfalto, VFA | 63.98 | | | 58.06 | | | 48.3 | | | 39.01 | | | 32.71 | | | 29.42 | | |

Fuente: Elaboración propia.

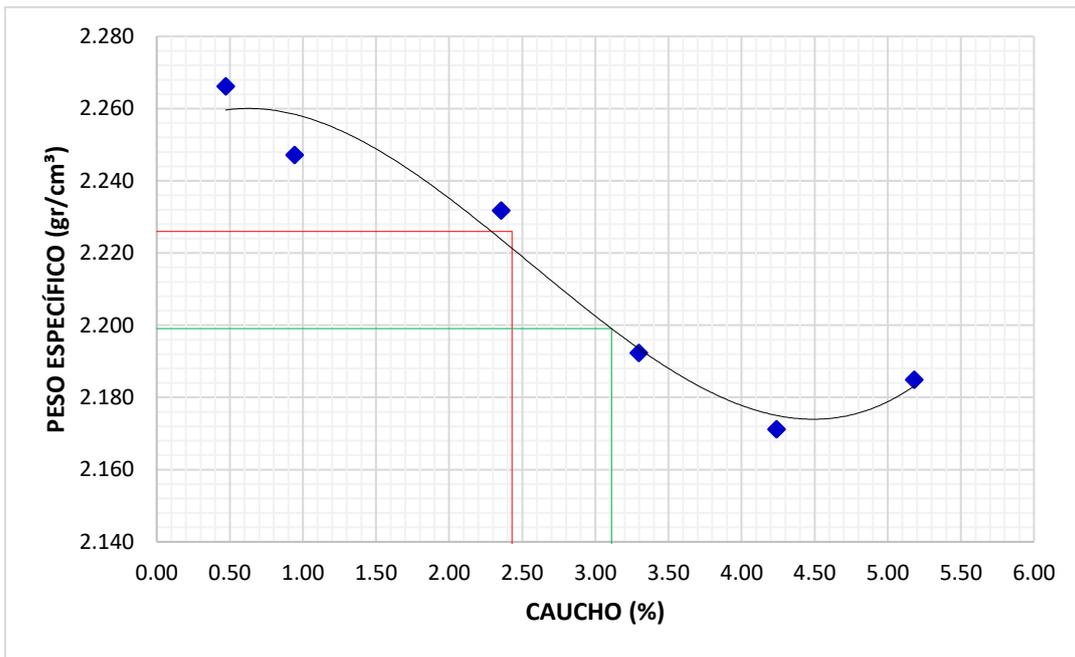


Figura 8. Relación peso específico (gr/cm³) (%) vs caucho (%).

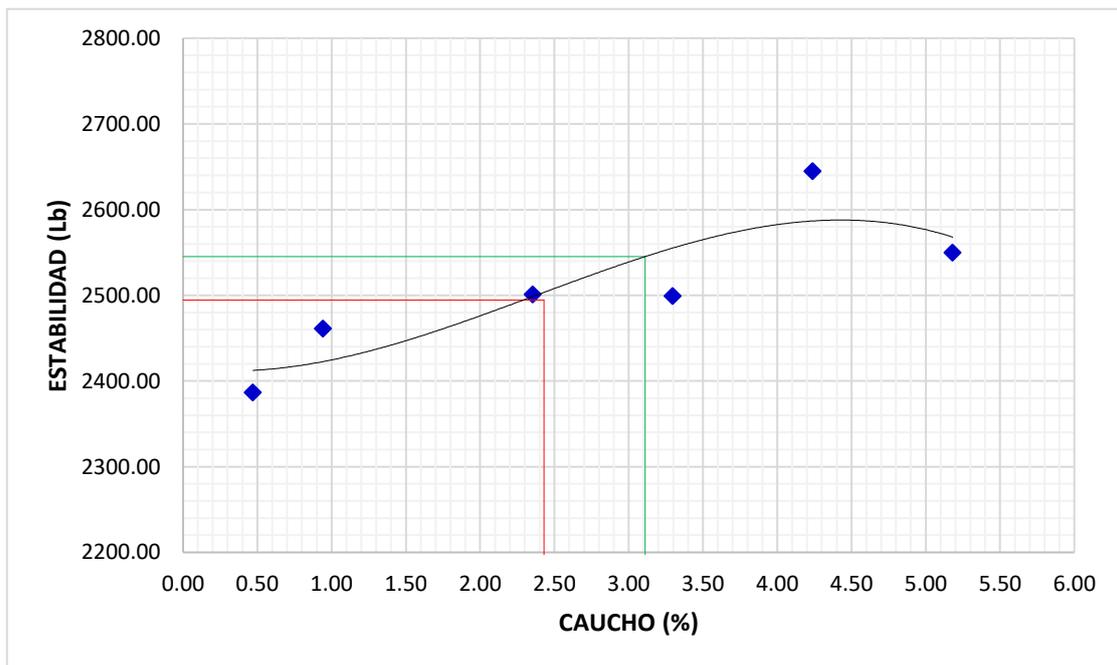


Figura 9. Relación estabilidad (Lb) vs caucho (%).

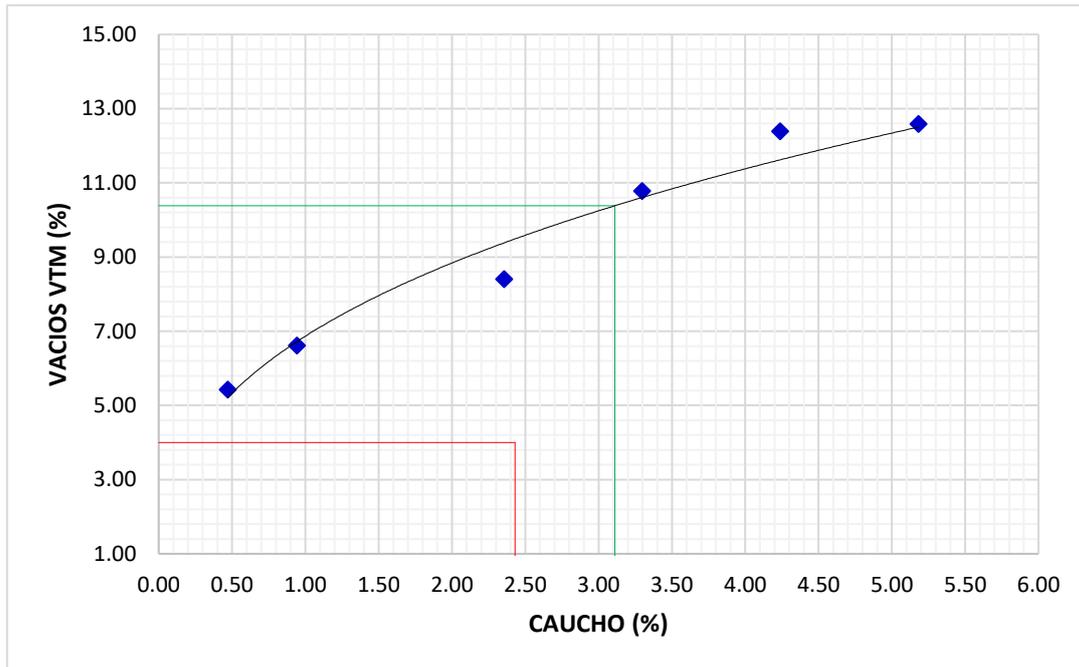


Figura 10. Relación vacíos VTM (%) vs caucho (%).

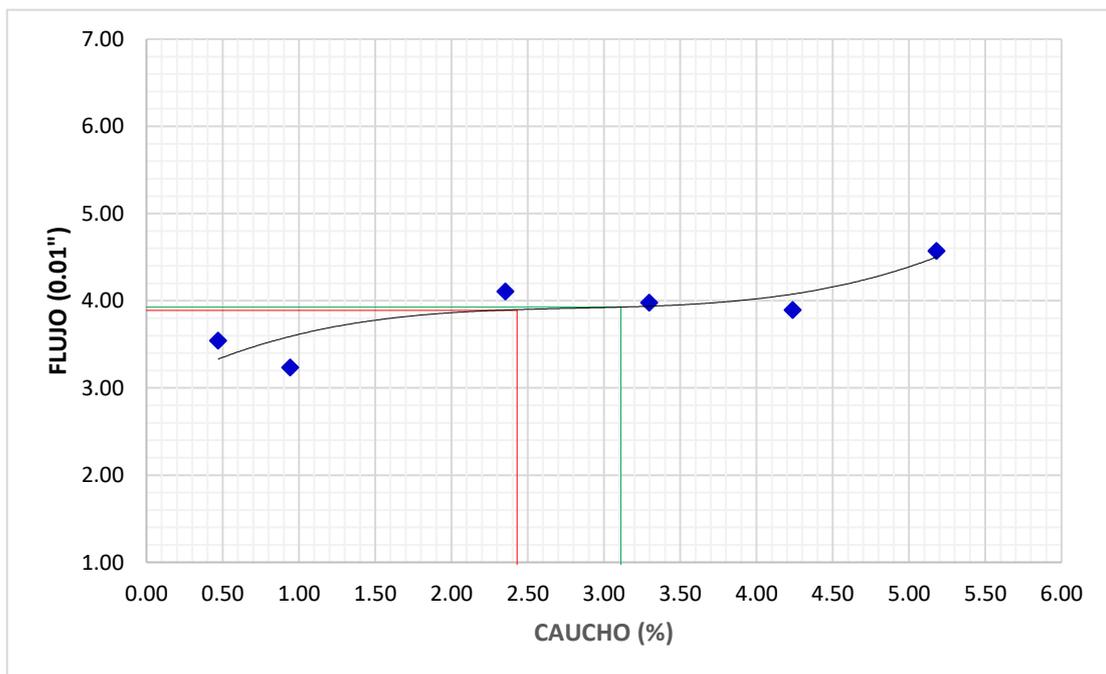


Figura 11. Relación flujo (0.01") vs caucho (%).

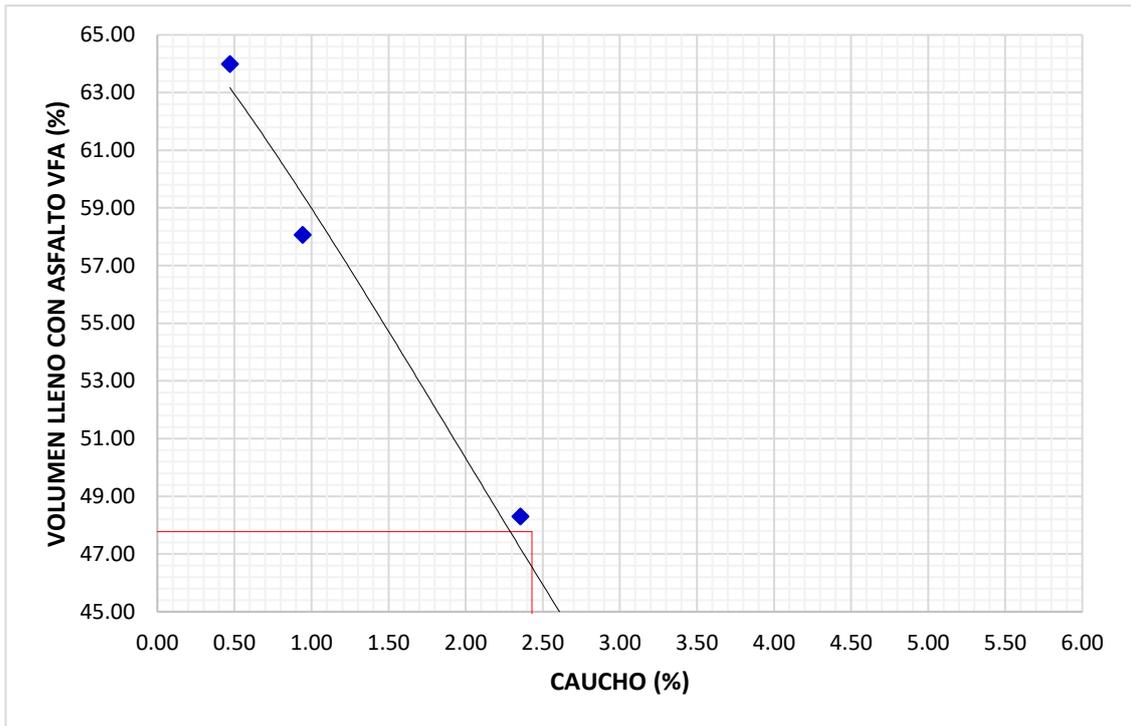


Figura 12. Relación volumen lleno con asfalto VFA (%) vs caucho (%).

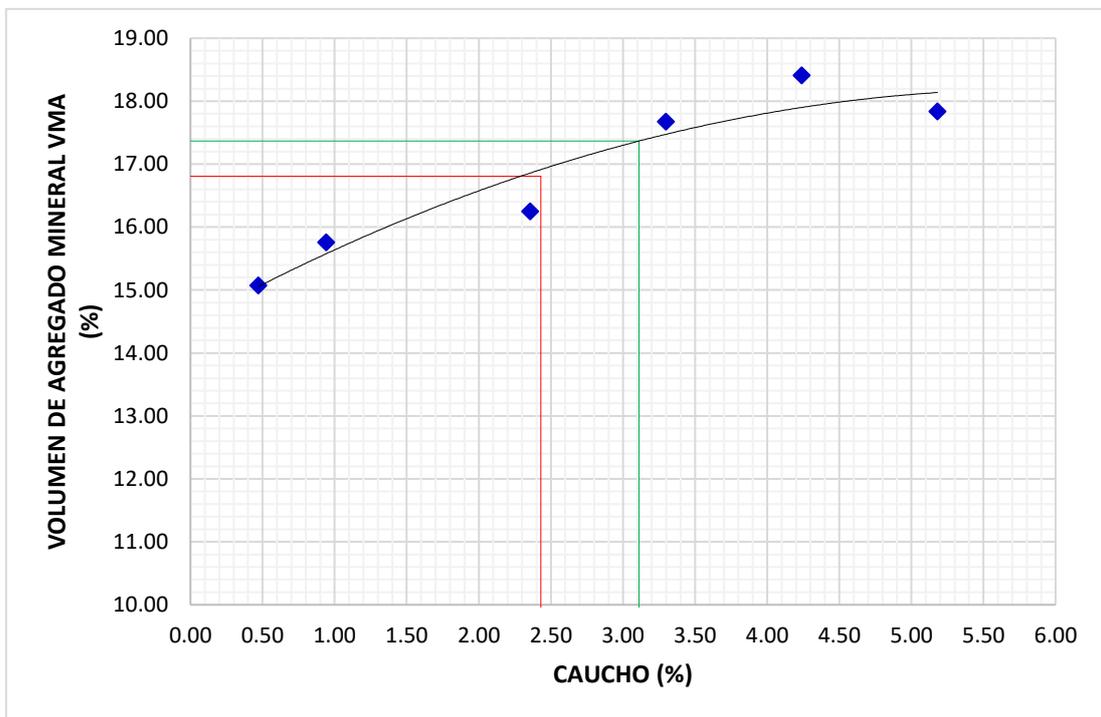


Figura 13. Relación volumen de agregado mineral VMA (%) vs caucho (%).

4.3. Comportamiento de las propiedades mecánicas, físicas y volumétricas entre la mezcla asfáltica patrón y la mezcla asfáltica reemplazando agregado fino por gránulos de caucho reciclado.

4.3.1. Propiedades mecánicas

4.3.1.1. Estabilidad

4.3.1.1.1. Comparativo entre especímenes de cada muestra respecto a la estabilidad.

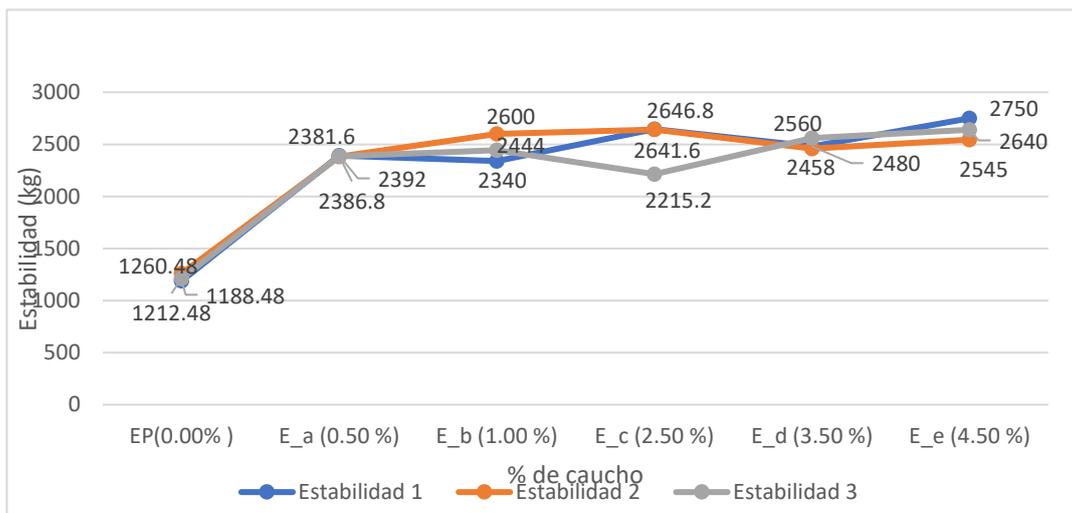


Figura 14. Comparación entre 3 especímenes de estabilidad patrón y 3 especímenes de estabilidad patrón + % de caucho.

4.3.1.1.2. Comparativo de cada porcentaje de caucho respecto a la estabilidad promedio.

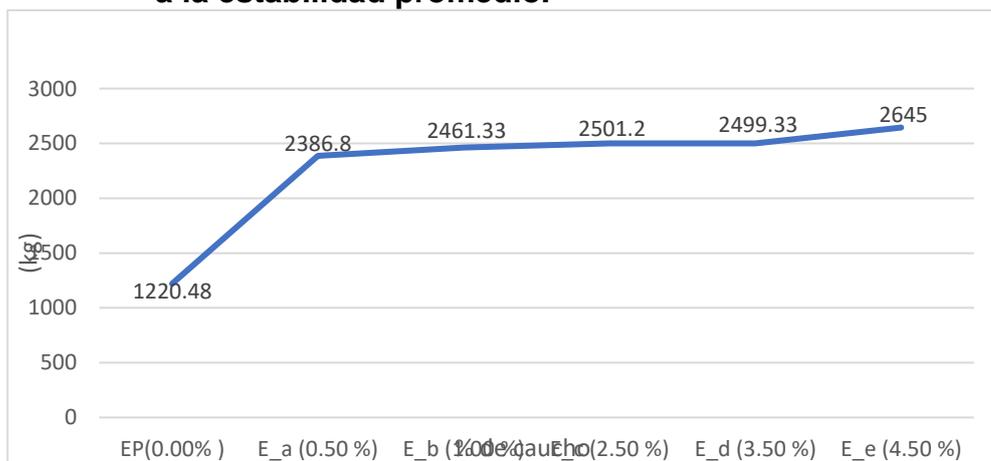


Figura 15. Comparación entre el promedio de estabilidad patrón y promedio de estabilidad patrón + % de caucho (en cada porcentaje).

En la figura 14, se puede ver que en el 0.5% de caucho los datos sufren un incremento considerable respecto a la muestra patrón (0.00% de caucho) de 1166.32 aproximadamente, luego entre los porcentajes siguientes el incremento se mantiene entre un pico máximo de 2646.8 y un mínimo de 2215.2, esta tendencia se mantiene hasta el 4.5% de caucho, donde el incremento empieza a hacerse visible entre un máximo de 2750 y un mínimo de 2545.

Respecto a la figura 15, se aprecia un incremento paulatino en la estabilidad, el cual cambia esta secuencia entre 2.5% y 3.5% de caucho, donde se observa un pequeño decrecimiento, para posteriormente volver a estabilizarse en 4.50% siguiendo la tendencia inicial.

4.3.1.1.3. Prueba de normalidad respecto a la estabilidad comparativa

Tabla 17. Estadísticos del grupo control y experimentales

| | Media aritmética | Desviación estándar | Varianza |
|--------------------|------------------|---------------------|-------------|
| ESTABILIDAD_PATRON | 120714.667 | 5619.01534 | 31573333.33 |
| ESTABILIDAD_a | 1082.63429 | 2.358705 | 5.563 |
| ESTABILIDAD_b | 1116.442 | 59.3587851 | 3523.465 |
| ESTABILIDAD_c | 1134.52523 | 112.353425 | 12623.292 |
| ESTABILIDAD_d | 1133.67833 | 24.3477226 | 592.812 |
| ESTABILIDAD_e | 1199.752 | 46.5344702 | 2165.457 |

Fuente: IBM SPSS Statistics.

Tabla 18. Pruebas de normalidad.

| | Shapiro-Wilk | |
|--------------------|--------------|-------|
| | Estadístico | Sig. |
| ESTABILIDAD_PATRON | 0,993 | 0,843 |
| ESTABILIDAD_a | 1,000 | 1,000 |
| ESTABILIDAD_b | 0,987 | 0,780 |
| ESTABILIDAD_c | 0,759 | 0,020 |
| ESTABILIDAD_d | 0,903 | 0,394 |
| ESTABILIDAD_e | 0,998 | 0,919 |

Fuente: IBM SPSS Statistics.

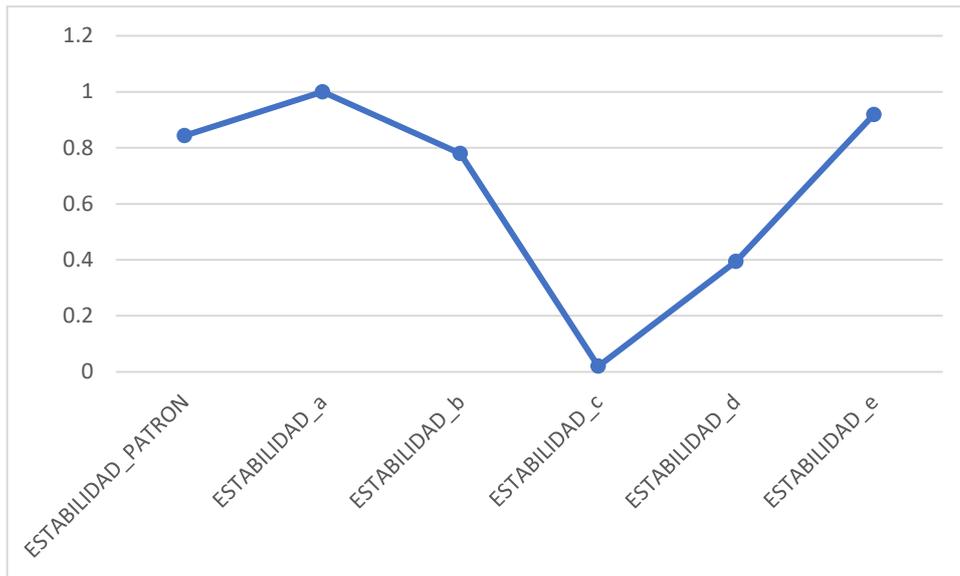


Figura 16. Significancia entre grupo control y experimentales.

Como la significancia es menor que 0.05, entonces si existe diferencia significativa en los grupos analizados: ESTABILIDAD_PATRON, ESTABILIDAD_a, ESTABILIDAD_b, ESTABILIDAD_c, ESTABILIDAD_d, ESTABILIDAD_e, por ellos se utilizara la prueba Kruskal-Wallis

4.3.1.1.4. Prueba de Kruskal-Wallis respecto a la estabilidad comparativa

Tabla 19. Estadísticos de prueba

| | TOTALES_ESTABILIDAD_COMPARACION |
|-----------------|---------------------------------|
| Chi-cuadrado | 12,135 |
| gl | 6 |
| Sig. asintótica | 0,059 |

Fuente: IBM SPSS Statistics.

Como la significancia asintótica es mayor que 0.05, entonces no existe diferencia significativa en los grupos analizados: ESTABILIDAD_PATRON, ESTABILIDAD_a, ESTABILIDAD_b, ESTABILIDAD_c, ESTABILIDAD_d, ESTABILIDAD_e.

4.3.1.2. Flujo

4.3.1.2.1. Comparativo entre especímenes de cada muestra respecto al flujo.

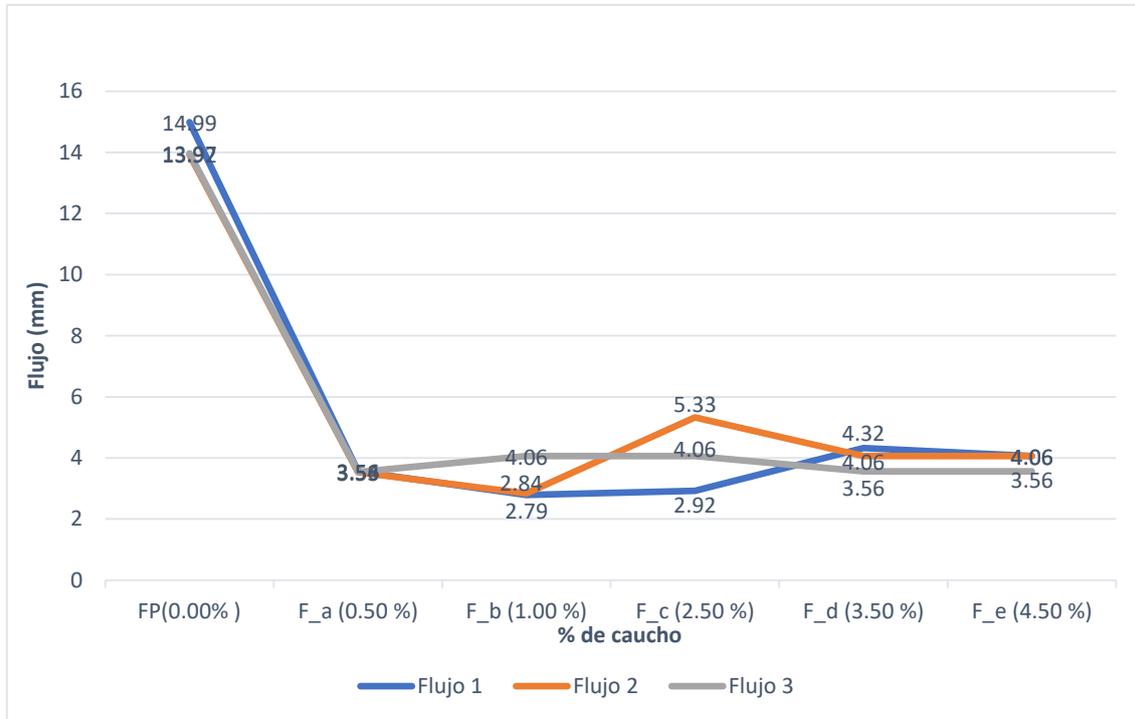


Figura 17. Comparación entre 3 especímenes de flujo patrón y 3 especímenes de flujo patrón + % de caucho.

4.3.1.2.2. Comparativo de cada porcentaje de caucho respecto al flujo promedio.

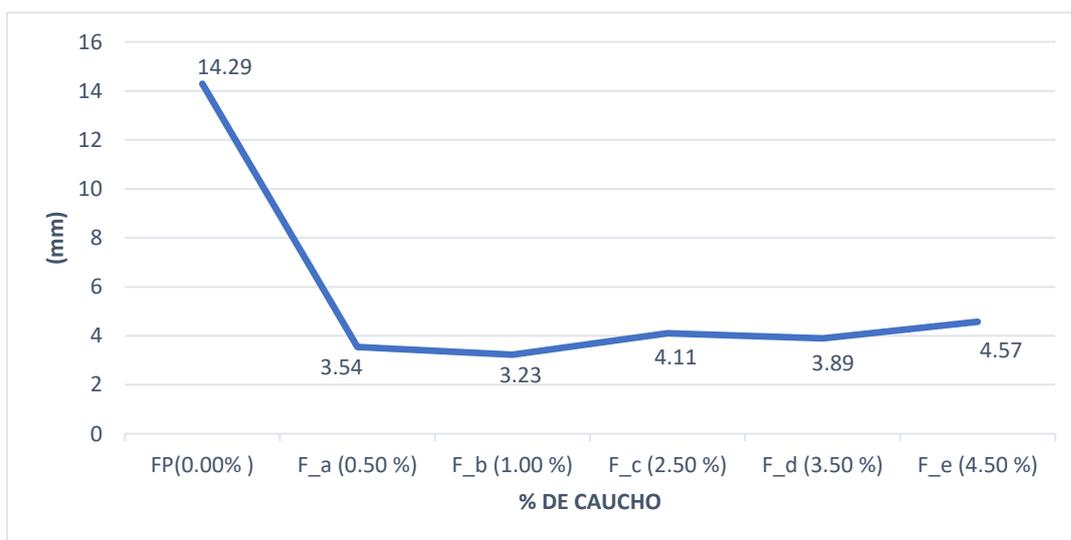


Figura 18. Comparación entre el promedio de flujo patrón y promedio de flujo patrón + % de caucho (en cada porcentaje).

En la figura 17, se puede ver que en el 0.5% de caucho los datos sufren un descenso considerable respecto a la muestra patrón (0.00% de caucho) de 14.99 aproximadamente, luego entre los porcentajes siguientes en los valores se mantienen entre un pico máximo de 5.33 y un mínimo de 2.84, esta tendencia se mantiene hasta el 4.50% de caucho donde se mantiene constante.

Respecto a la figura 18, se aprecia un descenso paulatino en el flujo, el cual mantiene esta secuencia baja entre 0.5% y 4.50%, pero que va incrementando de a pocos, con una decaída en este ritmo en el 3.50 %.

4.3.1.2.3. Prueba de normalidad respecto al flujo comparativo

Tabla 20. Estadísticos del grupo control y experimentales.

| | Media | Desviación estándar | Varianza |
|--------------|------------|---------------------|----------|
| FLUJO_PATRON | 14.2933333 | 0.60384877 | 0.365 |
| FLUJO_a | 3.5433333 | 0.01527525 | 0.000 |
| FLUJO_b | 3.23 | 0.71923571 | 0.517 |
| FLUJO_c | 4.1033333 | 1.20558423 | 1.453 |
| FLUJO_d | 3.9800000 | 0.38626416 | 0.149 |
| FLUJO_e | 3.8933333 | 0.28867513 | 0.083 |

Fuente: IBM SPSS Statistics.

Tabla 21. Pruebas de normalidad.

| | Shapiro-Wilk | | |
|--------------|--------------|----|-------|
| | Estadístico | gl | Sig. |
| FLUJO_PATRON | 0,785 | 3 | 0,079 |
| FLUJO_a | 0,964 | 3 | 0,637 |
| FLUJO_b | 0,779 | 3 | 0,066 |
| FLUJO_c | 0,999 | 3 | 0,941 |
| FLUJO_d | 0,968 | 3 | 0,656 |
| FLUJO_e | 0,750 | 3 | 0,000 |

Fuente: IBM SPSS Statistics.



Figura 19. Significancia entre grupo control y experimentales.

Como la significancia es menor que 0.05, entonces si existe diferencia significativa en los grupos analizados: FLUJO_PATRON, FLUJO_a, FLUJO_b, FLUJO_c, FLUJO_d, FLUJO_e, por ellos se utilizara la prueba Kruskal-Wallis

4.3.1.2.4. Prueba de Kruskal-Wallis respecto al flujo comparativo.

Tabla 22. Técnica Kruskal-Wallis.

| | TOTALES_FLUJO_COMPARACION |
|-----------------|---------------------------|
| Chi-cuadrado | 14,303 |
| gl | 6 |
| Sig. asintótica | 0,026 |

Fuente: IBM SPSS Statistics.

Como la significancia asintótica es menor que 0.05, entonces si existe diferencia significativa en los grupos analizados: FLUJO_a, FLUJO_b, FLUJO_c, FLUJO_d, FLUJO_e, debido a esto se analizara el grupo control FLUJO_PATRON con cada grupo experimental para resultar sus disimilitudes

4.3.1.2.5. Prueba de *U de Mann-Whitney* respecto al flujo comparativo.

Tabla 23. *U de Mann-Whitney*

| | FLUJO_PATRON con FLUJO_a | FLUJO_PATRON con FLUJO_b | FLUJO_PATRON con FLUJO_c | FLUJO_PATRON con FLUJO_d | FLUJO_PATRON con FLUJO_e |
|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| t | 30,825 | 20,405 | 13,090 | 24,920 | 26,914 |
| | 30,825 | 20,405 | 13,090 | 24,920 | 26,914 |
| Sig. (bilateral) | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | 0,001 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 |

Fuente: IBM SPSS Statistics.

Como la significancia es menor que 0.05, entonces si existe diferencia significativa entre el grupo control FLUJO_PATRON y los grupos analizados: FLUJO_a, FLUJO_b, FLUJO_c, FLUJO_d, FLUJO_e.

4.3.2. Propiedades físicas

4.3.2.1. Densidad

4.3.2.1.1. Comparativo entre especímenes de cada muestra respecto a la densidad.

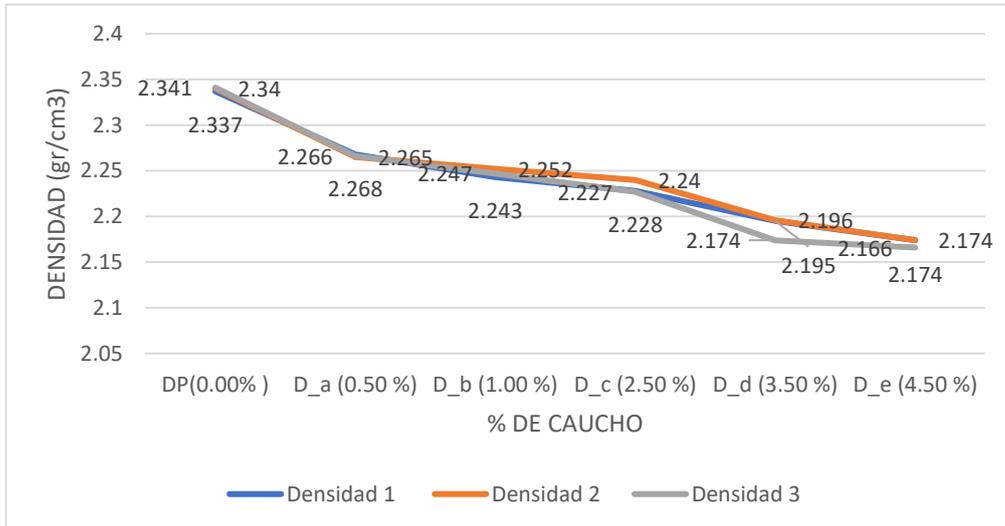


Figura 20. Comparación entre 3 especímenes de densidad patrón y 3 especímenes de densidad patrón + % de caucho.

4.3.2.1.2. Comparativo de cada porcentaje de caucho respecto a la densidad promedio.

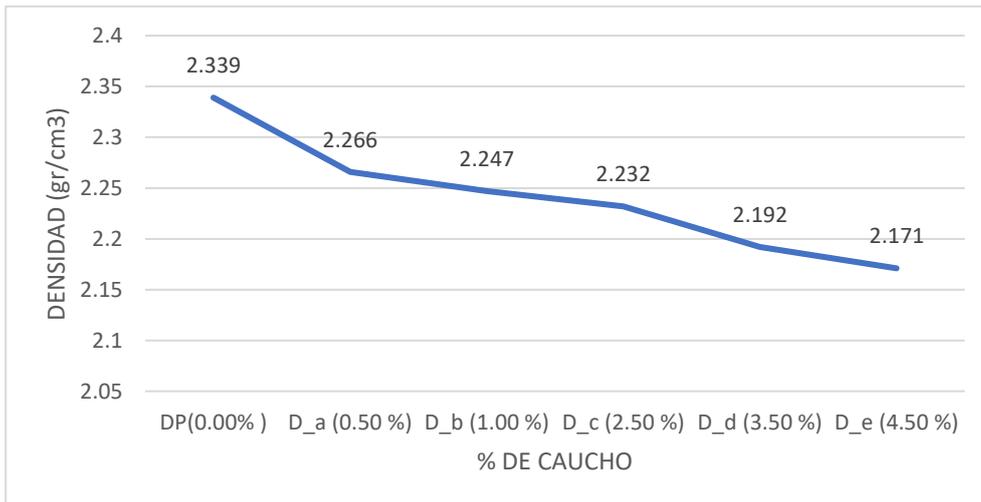


Figura 21. Comparación entre el promedio de densidad patrón y promedio de densidad patrón + % de caucho (en cada porcentaje).

En la figura 20, se puede ver que en el 0.5% de caucho los datos sufren un descenso constante respecto a la muestra patrón (0.00% de caucho) de 2.341 aproximadamente, luego entre los porcentajes siguientes en los valores se mantienen entre un pico máximo de 2.268 y un mínimo de 2.174, esta tendencia se mantiene hasta el 4.50% de caucho donde se mantiene constante.

Respecto a la figura 21, se aprecia un descenso paulatino en el flujo, el cual mantiene esta secuencia baja entre 0.5% y 4.50%, que va disminuyendo de a pocos, con una decaída en ritmo constante.

4.3.2.1.3. Prueba de normalidad respecto a la densidad comparativa.

Tabla 24. Estadísticos del grupo control y experimentales.

| | Media | Desviación estándar | Varianza |
|-----------------|-----------|---------------------|----------|
| DENSIDAD_PATRON | 2.3393333 | 0.00208167 | 0.000 |
| DENSIDAD_a | 2.2663333 | 0.00152753 | 0.000 |
| DENSIDAD_b | 2.2473333 | 0.00450925 | 0.000 |
| DENSIDAD_c | 2.2316667 | 0.00723418 | 0.000 |
| DENSIDAD_d | 2.1923333 | 0.00550757 | 0.000 |
| DENSIDAD_e | 2.1713333 | 0.00461880 | 0.000 |

Fuente: IBM SPSS Statistics.

Tabla 25. Pruebas de normalidad.

| | Shapiro-Wilk | | |
|-----------------|--------------|----|------|
| | Estadístico | gl | Sig. |
| DENSIDAD_PATRON | .923 | 3 | .463 |
| DENSIDAD_a | .964 | 3 | .637 |
| DENSIDAD_b | .996 | 3 | .878 |
| DENSIDAD_c | .807 | 3 | .132 |
| DENSIDAD_d | .824 | 3 | .174 |
| DENSIDAD_e | .750 | 3 | .000 |

Fuente: IBM SPSS Statistics.

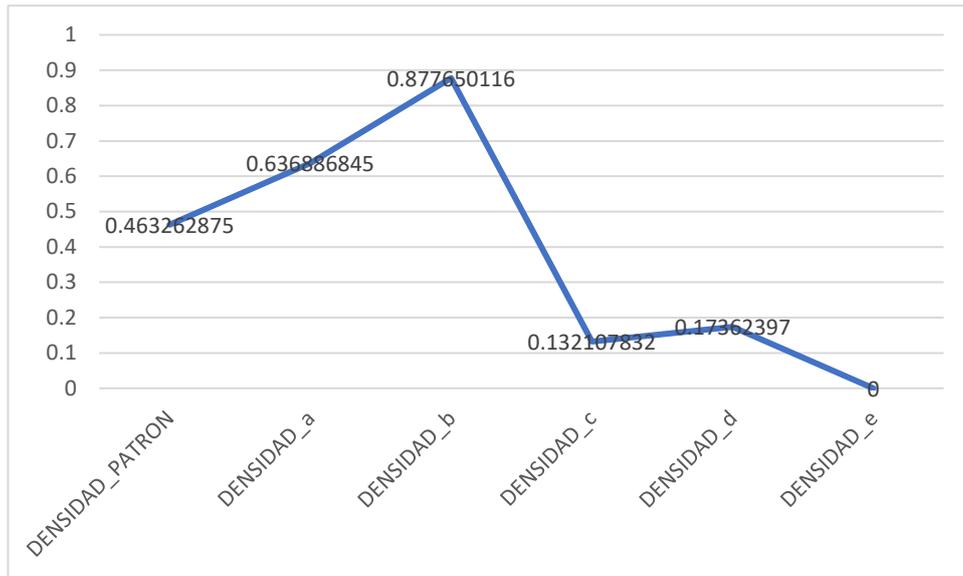


Figura 22. Significancia entre grupo control y experimentales.

Como la significancia es menor que 0.05, entonces si existe diferencia significativa en los grupos analizados: DENSIDAD_PATRON, DENSIDAD_a, DENSIDAD_b, DENSIDAD_c, DENSIDAD_d, DENSIDAD_e, por ellos se utilizara la prueba Kruskal-Wallis.

4.3.2.1.4. Prueba de Kruskal-Wallis respecto a la densidad comparativo.

Tabla 26. Técnica Kruskal-Wallis.

| | TOTALES_DENSIDAD_COMPARACION |
|-----------------|------------------------------|
| Chi-cuadrado | 19,700 |
| gl | 6 |
| Sig. asintótica | 0,003 |

Fuente: IBM SPSS Statistics.

Como la significancia asintótica es menor que 0.05, entonces si existe diferencia significativa en los grupos analizados: DENSIDAD_a, DENSIDAD_b, DENSIDAD_c, DENSIDAD_d, DENSIDAD_e, debido a esto se analizara el grupo control DENSIDAD_PATRON con cada grupo experimental para resultar sus disimilitudes

4.3.2.1.5. Prueba de *U* de Mann-Whitney respecto a la densidad comparativo.

Tabla 27. *U* de Mann-Whitney

| | DENSIDAD_PATRON con DENSIDAD _a | DENSIDAD _PATRON con DENSIDAD _b | DENSIDAD _PATRON con DENSIDAD _c | DENSIDAD _PATRON con DENSIDAD _d | DENSIDAD _PATRON con DENSIDAD _e |
|---------------------|---------------------------------------|---|---|---|---|
| t | 48.970 | 32.084 | 24.773 | 43.244 | 57.436 |
| | 48.970 | 32.084 | 24.773 | 43.244 | 57.436 |
| Sig. (bilateral) | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 |

Fuente: IBM SPSS Statistics.

Como la significancia es menor que 0.05, entonces si existe diferencia significativa entre el grupo control DENSIDAD_PATRON y los grupos analizados: DENSIDAD _a, DENSIDAD _b, DENSIDAD _c, DENSIDAD _d, DENSIDAD _e.

4.3.3. Propiedades volumétricas

4.3.3.1. Porcentaje de vacíos total de la mezcla (VTM)

4.3.3.1.1. Comparativo entre especímenes de cada muestra respecto al porcentaje de vacíos total de la mezcla.

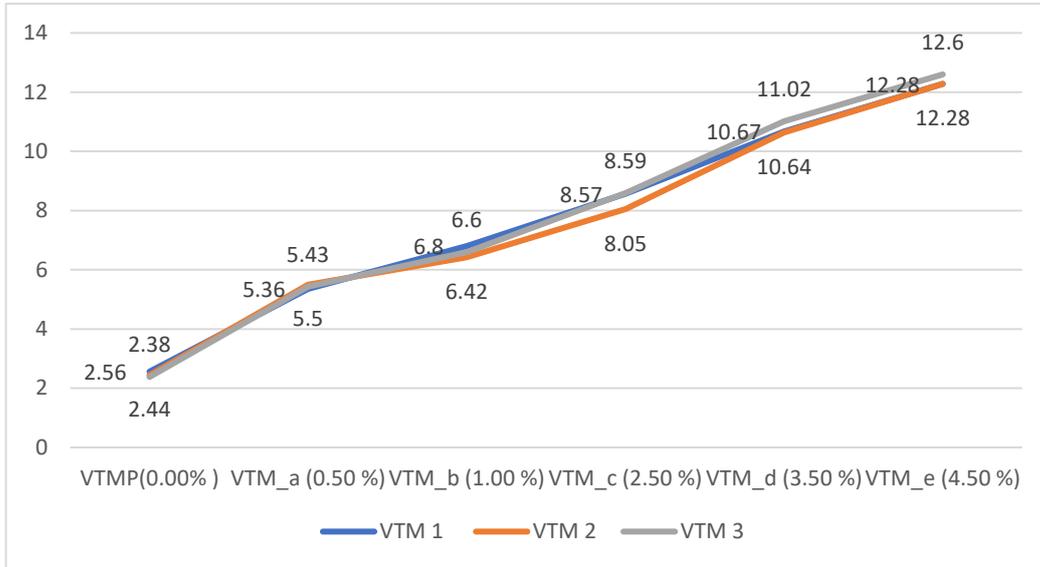


Figura 23. Comparación entre 3 especímenes de VTM patrón y 3 especímenes de VTM patrón + % de caucho.

4.3.3.1.2. Comparativo de cada porcentaje de caucho respecto al porcentaje de vacíos total de la mezcla promedio.

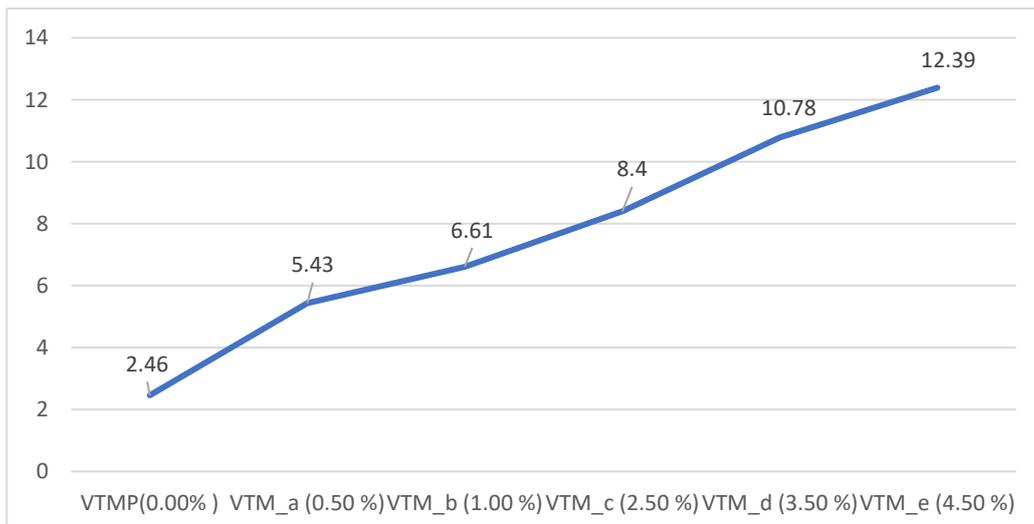


Figura 24. Comparación entre el promedio de VTM patrón y promedio de VTM patrón + % de caucho (en cada porcentaje).

En la figura 23, se puede ver que en el 0.5% de caucho los datos incrementan constantemente respecto a la muestra patrón (0.00% de caucho) de 2.56 aproximadamente, luego entre los porcentajes siguientes en los valores se mantienen entre un pico máximo de 12.6 y un mínimo de 5.36, esta tendencia se mantiene hasta el 4.50% se predice que ese incremento sigue en proceso.

Respecto a la figura 24, se aprecia un incremento en el VTM, el cual mantiene esta tendencia en los porcentajes de manera constante hasta el 4.50%, con ello se puede predecir que ese incremento seguirá en porcentajes posteriores.

4.3.3.1.3. Prueba de normalidad respecto a la VTM comparativa.

Tabla 28. Estadísticos del grupo control y experimentales.

| | Media | Desviación estándar | Varianza |
|------------|------------|---------------------|----------|
| VTM_PATRON | 2.46000000 | 0.9165151 | 0.008 |
| VTM_a | 5.430000 | 0.0700000 | 0.005 |
| VTM_b | 6.6066667 | 0.19008770 | 0.036 |
| VTM_c | 8.4033333 | 0.30615900 | 0.094 |
| VTM_d | 10.7766667 | 0.21126603 | 0.045 |
| VTM_e | 12.3866667 | 0.18475209 | 0.034 |

Fuente: IBM SPSS Statistics.

Tabla 29. Pruebas de normalidad.

| | Shapiro-Wilk | | |
|------------|--------------|----|-------|
| | Estadístico | gl | Sig. |
| VTM_PATRON | 0.964 | 3 | 0.637 |
| VTM_a | 1.000 | 3 | 1.000 |
| VTM_b | 0.999 | 3 | 0.942 |
| VTM_c | 0.778 | 3 | 0.062 |
| VTM_d | 0.809 | 3 | 0.136 |
| VTM_e | 0.750 | 3 | 0.000 |

Fuente: IBM SPSS Statistics.

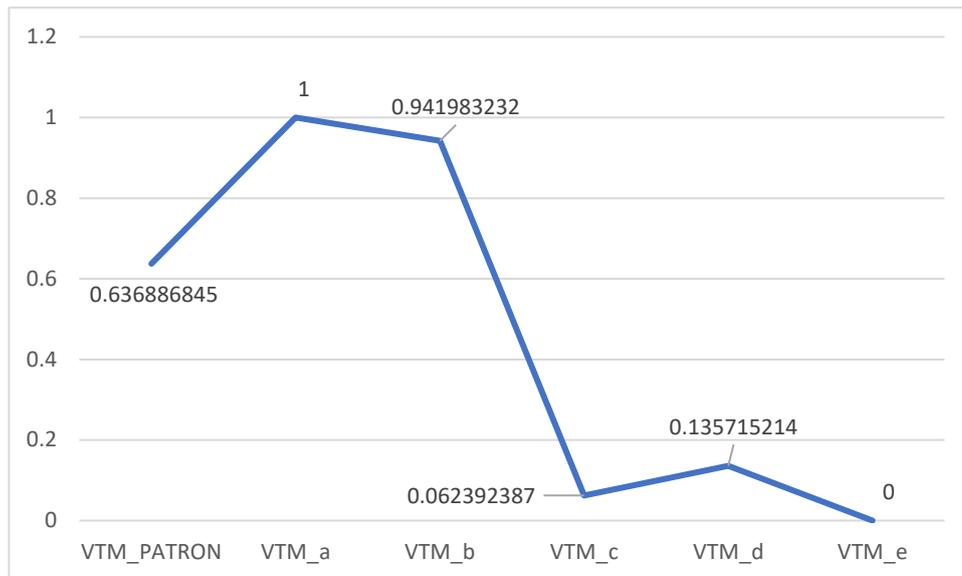


Figura 25. Significancia entre grupo control y experimentales.

Como la significancia es menor que 0.05, entonces si existe diferencia significativa en los grupos analizados: VTM_PATRON, VTM_a, VTM_b, VTM_c, VTM_d, VTM_e, por ellos se utilizara la prueba Kruskal-Wallis.

4.3.3.1.4. Prueba de *Kruskal-Wallis* respecto al VTM comparativo.

Tabla 30. Técnica *Kruskal-Wallis*.

| | TOTALES_DENSIDAD_COMPARACION |
|-----------------|------------------------------|
| Chi-cuadrado | 19,388 |
| gl | 6 |
| Sig. asintótica | 0,004 |

Fuente: IBM SPSS Statistics.

Como la significancia asintótica es menor que 0.05, entonces si existe diferencia significativa en los grupos analizados: VTM_a, VTM_b, VTM_c, VTM_d, VTM_e, debido a esto se analizara el grupo control VTM_PATRON con cada grupo experimental para resultar sus disimilitudes

4.3.3.1.5. Prueba de *U de Mann-Whitney* respecto al VTM comparativo.

Tabla 31. *U de Mann-Whitney*

| | VTM_PATRON con VTM _a | VTM_PATRON con VTM _b | VTM _PATRON con VTM _c | VTM _PATRON con VTM _d | VTM_PATRON con VTM _e |
|---------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| t | -44.606 | -34.034 | -32.211 | -62.551 | -83.368 |
| | -44.606 | -34.034 | -32.211 | -62.551 | -83.368 |
| Sig. (bilateral) | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

Fuente: IBM SPSS Statistics.

Como la significancia es menor que 0.05, entonces si existe diferencia significativa entre el grupo control VTM_PATRON y los grupos analizados: VTM _a, VTM _b, VTM _c, VTM _d, VTM _e.

4.3.3.2. Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA)

4.3.3.2.1. Comparativo entre especímenes de cada muestra respecto al porcentaje de vacíos del agregado mineral.

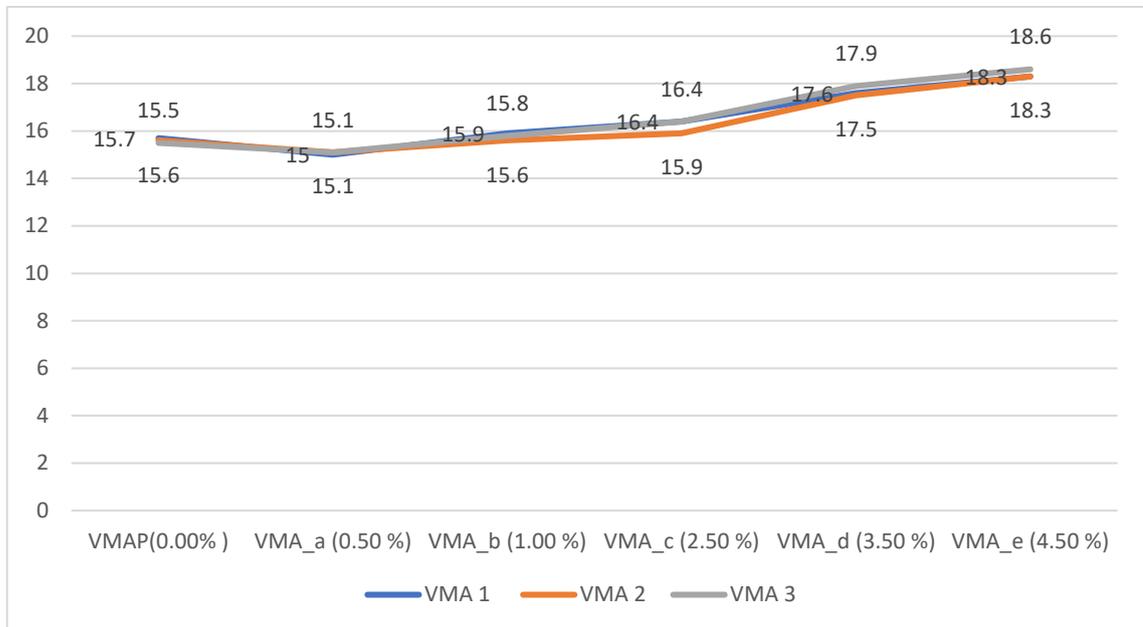


Figura 26. Comparación entre 3 especímenes de VMA patrón y 3 especímenes de VMA patrón + % de caucho.

4.3.3.2.2. Comparativo de cada porcentaje de caucho respecto al porcentaje de vacíos del agregado mineral promedio.

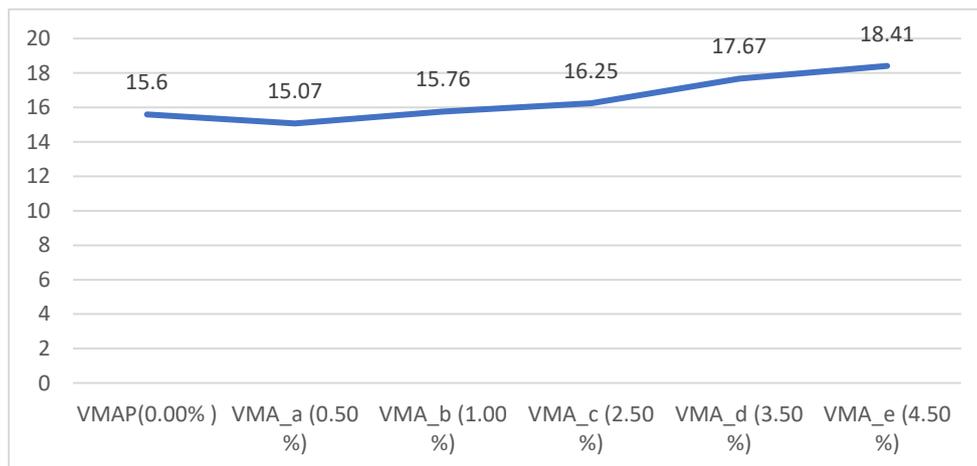


Figura 27. Comparación entre el promedio de VMA patrón y promedio de VMA patrón + % de caucho (en cada porcentaje).

En la figura 26, se puede ver que en el 0.5% de caucho los datos incrementan mínimamente respecto a la muestra patrón anterior, luego entre los porcentajes siguientes en los valores se mantienen entre un pico máximo de 18.6 y un mínimo de 15.1, esta tendencia se mantiene hasta el 4.50%.

Respecto a la figura 27, se aprecia un incremento en el VMA, el cual mantiene esta tendencia en los porcentajes de manera constante hasta el 4.50%, con ello se puede predecir que ese incremento seguirá en porcentajes posteriores.

4.3.3.2.3. Prueba de normalidad respecto a la VMA comparativa.

Tabla 32. Estadísticos del grupo control y experimentales.

| | Media | Desviación estándar | Varianza |
|------------|------------|---------------------|----------|
| VMA_PATRON | 15.60000 | 0.1000 | 0.010 |
| VMA_a | 15.0666667 | 0.5773503 | 0.003 |
| VMA_b | 15.7666667 | 0.15275252 | 0.023 |
| VMA_c | 16.2333333 | 0.28867513 | 0.083 |
| VMA_d | 17.6666667 | 0.20816660 | 0.043 |
| VMA_e | 18.4000 | 0.17320508 | 0.030 |

Fuente: IBM SPSS Statistics.

Tabla 33. Pruebas de normalidad.

| | Shapiro-Wilk | | |
|------------|--------------|----|-------|
| | Estadístico | gl | Sig. |
| VMA_PATRON | 1.000 | 3 | 1.000 |
| VMA_a | 0.750 | 3 | 0.000 |
| VMA_b | 0.964 | 3 | 0.637 |
| VMA_c | 0.750 | 3 | 0.000 |
| VMA_d | 0.923 | 3 | 0.463 |
| VMA_e | 0.750 | 3 | 0.000 |

Fuente: IBM SPSS Statistics.

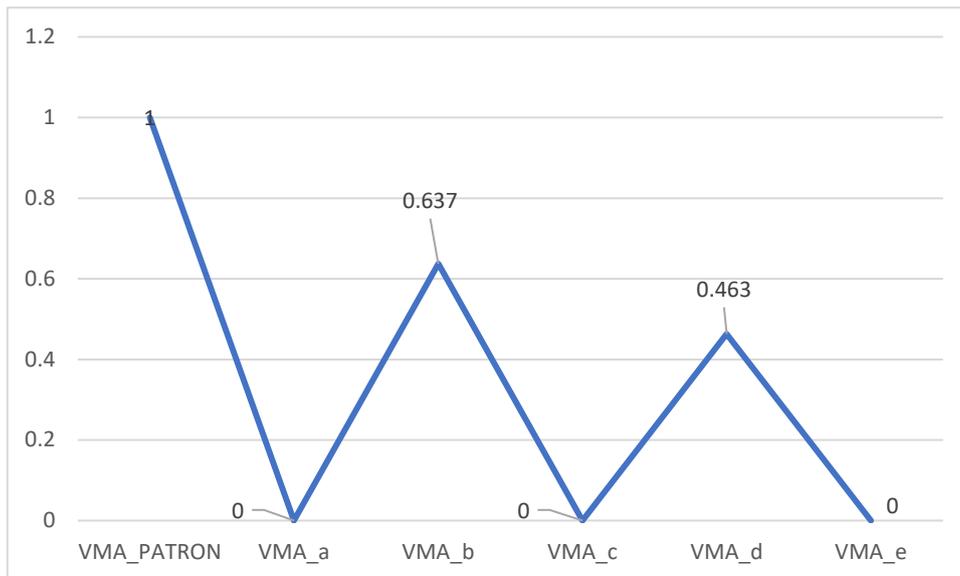


Figura 28. Significancia entre grupo control y experimentales.

Como la significancia es menor que 0.05, entonces si existe diferencia significativa en los grupos analizados: VMA_PATRON, VMA_a, VMA_b, VMA_c, VMA_d, VMA_e, por ellos se utilizara la prueba Kruskal-Wallis.

4.3.3.2.4. Prueba de *Kruskal-Wallis* respecto al VMA comparativo.

Tabla 34. Técnica *Kruskal-Wallis*.

| | TOTALES_DENSIDAD_COMPARACION |
|-----------------|------------------------------|
| Chi-cuadrado | 19,155 |
| gl | 6 |
| Sig. asintótica | 0,004 |

Fuente: IBM SPSS Statistics.

Como la significancia asintótica es menor que 0.05, entonces si existe diferencia significativa en los grupos analizados: VMA_a, VMA_b, VMA_c, VMA_d, VMA_e, debido a esto se analizara el grupo control VMA_PATRON con cada grupo experimental para resultar sus disimilitudes

4.3.3.2.5. Prueba de *U de Mann-Whitney* respecto al VMA comparativo.

Tabla 35. *U de Mann-Whitney*

| | VMA_PATRON con VMA _a | VMA_PATRON con VMA _b | VMA _PATRON con VMA _c | VMA _PATRON con VMA _d | VMA_PATRON con VMA _e |
|---------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| t | 8.000 | -1.581 | -3.591 | -15.500 | -24.249 |
| | 8.000 | -1.581 | -3.591 | -15.500 | -24.249 |
| Sig. (bilateral) | 0,001 | 0,189 | 0,023 | 0,000 | 0,000 |
| | 0,003 | 0,200 | 0,050 | 0,001 | 0,000 |

Fuente: IBM SPSS Statistics.

Como la significancia es menor que 0.05, entonces si existe diferencia significativa entre el grupo control VMA_PATRON y los grupos analizados: VMA _a, VMA _c, VMA _d, VMA _e; con excepción del grupo VMA _b, donde no existe diferencia significativa.

4.3.3.3. Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA)

4.3.3.3.1. Comparativo entre especímenes de cada muestra respecto al porcentaje de vacíos llenos con asfalto

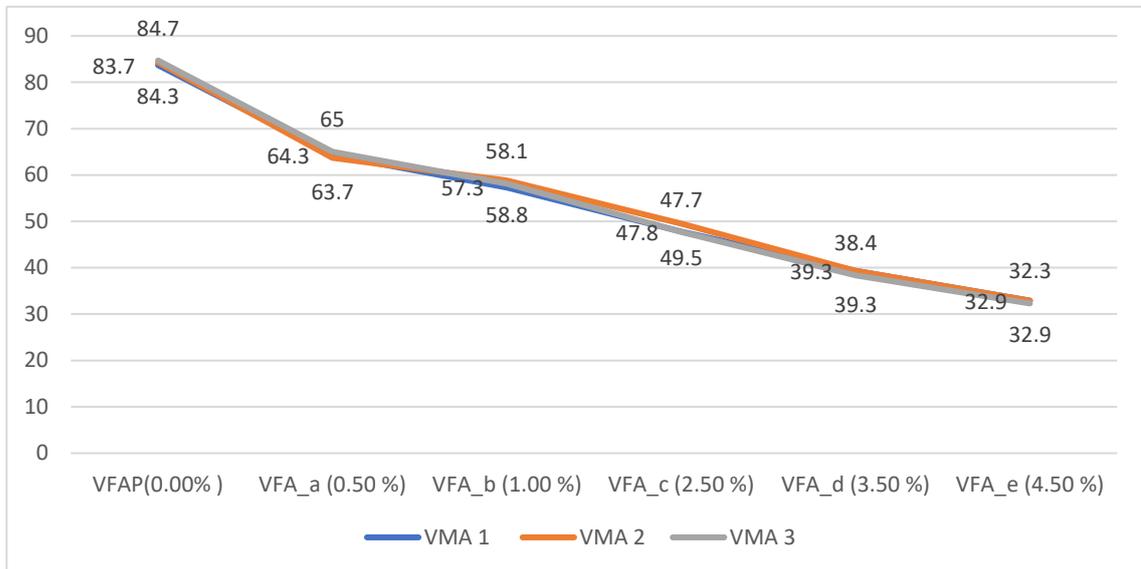


Figura 29. Comparación entre 3 especímenes de VFA patrón y 3 especímenes de VFA patrón + % de caucho.

4.3.3.3.2. Comparativo de cada porcentaje de caucho respecto al porcentaje de vacíos llenos con asfalto promedio.

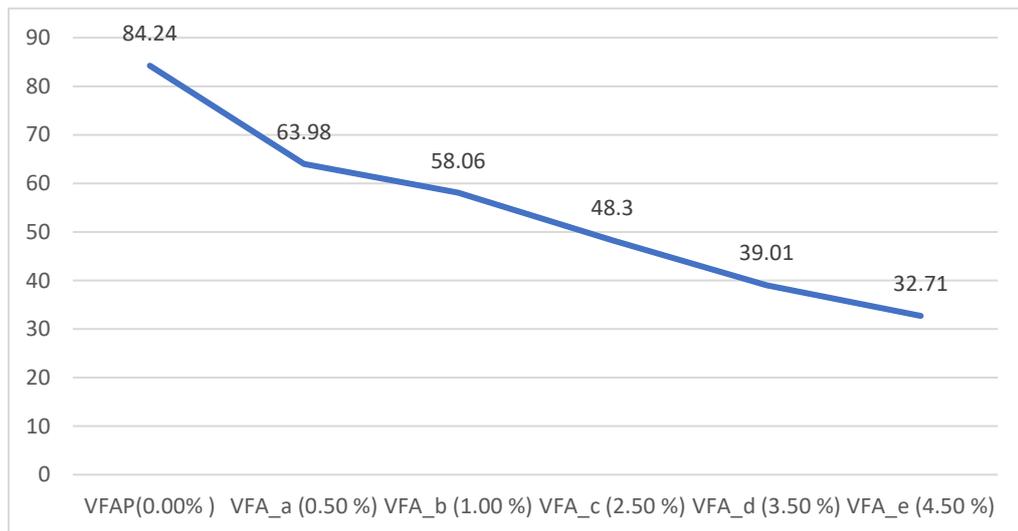


Figura 30. Comparación entre el promedio de VFA patrón y promedio de VFA patrón + % de caucho (en cada porcentaje).

En la figura 29, se puede ver que en el 0.5% de caucho los datos sufren un descenso constante respecto a la muestra patrón (0.00% de caucho) de 84.7 aproximadamente, luego entre los porcentajes siguientes en los valores se mantienen entre un pico máximo de 65 y un mínimo de 32.3, esta tendencia se mantiene hasta el 4.50% de caucho donde se mantiene en caída constante.

Respecto a la figura 30, se aprecia un descenso paulatino en el VFA, con una decaída en ritmo constante.

4.3.3.3.3. Prueba de normalidad respecto a la VMA comparativa.

Tabla 36. Estadísticos del grupo control y experimentales.

| | Media | Desviación estándar | Varianza |
|------------|------------|---------------------|----------|
| VFA_PATRON | 84.233333 | 0.50332230 | 0.253 |
| VFA_a | 64.000 | 0.3000 | 0.090 |
| VFA_b | 58.0666667 | 0.75055535 | 0.563 |
| VFA_c | 48.333333 | 1.01159939 | 1.023 |
| VFA_d | 39.00000 | 0.51961524 | 0.270 |
| VFA_e | 32.700000 | 0.34641016 | 0.120 |

Fuente: IBM SPSS Statistics.

Tabla 37. Pruebas de normalidad.

| | Shapiro-Wilk | | |
|------------|--------------|----|-------|
| | Estadístico | gl | Sig. |
| VFA_PATRON | 0.987 | 3 | 0.780 |
| VFA_a | 1.000 | 3 | 1.000 |
| VFA_b | 0.999 | 3 | 0.927 |
| VFA_c | 0.792 | 3 | 0.094 |
| VFA_d | 0.750 | 3 | 0.000 |
| VFA_e | 0.750 | 3 | 0.000 |

Fuente: IBM SPSS Statistics.

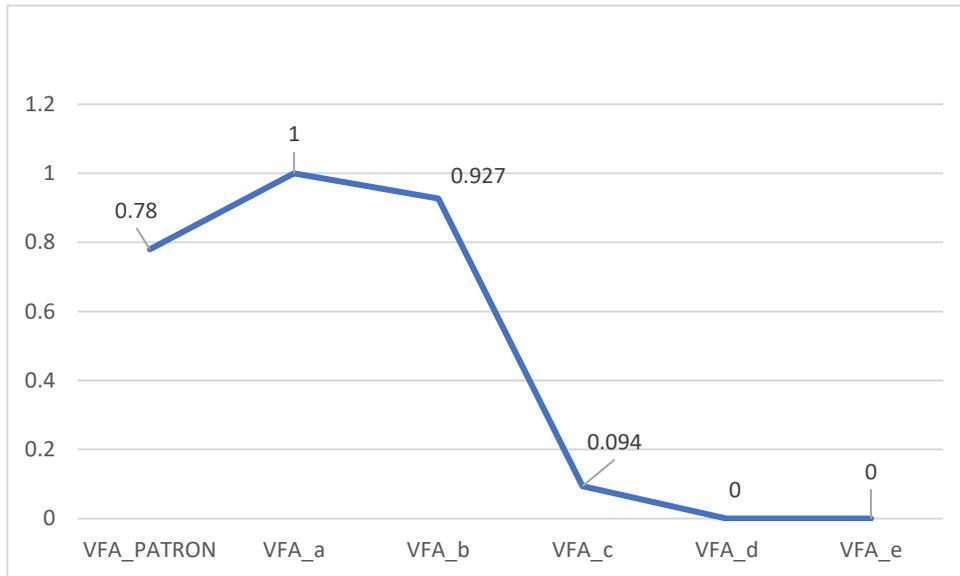


Figura 31. Significancia entre grupo control y experimentales.

Como la significancia es menor que 0.05, entonces si existe diferencia significativa en los grupos analizados: VFA_PATRON, VFA _a, VFA _b, VFA _c, VFA _d, VFA _e, por ellos se utilizara la prueba Kruskal-Wallis.

4.3.3.3.4. Prueba de *Kruskal-Wallis* respecto al VFA comparativo.

Tabla 38. Técnica *Kruskal-Wallis*.

| | TOTALES_DENSIDAD_COMPARACION |
|-----------------|------------------------------|
| Chi-cuadrado | 19,713 |
| gl | 6 |
| Sig. asintótica | 0,003 |

Fuente: IBM SPSS Statistics.

Como la significancia asintótica es menor que 0.05, entonces si existe diferencia significativa en los grupos analizados: VFA _a, VFA _b, VFA _c, VFA _d, VFA _e, debido a esto se analizara el grupo control VFA _PATRON con cada grupo experimental para resultar sus disimilitudes

4.3.3.3.5. Prueba de *U de Mann-Whitney* respecto al VFA comparativo.

Tabla 39. *U de Mann-Whitney*

| | VFA _PATRON con VFA _a | VFA _PATRON con VFA _b | VFA _PATRON con VFA _c | VFA _PATRON con VFA _d | VFA _PATRON con VFA _e |
|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| t | 59.809 | 50.152 | 55.032 | 108.300 | 146.083 |
| Sig. (bilateral) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

Fuente: IBM SPSS Statistics.

Como la significancia es menor que 0.05, entonces si existe diferencia significativa entre el grupo control VFA _PATRON y los grupos analizados: VFA _a, VFA _c, VFA _d, VFA _e; con excepción del grupo VFA _b, donde no existe diferencia significativa.

V. DISCUSIÓN

Farfán y Romero (2019) utilizaron el método Marshall para evaluar el comportamiento de las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, respecto a esto indican que el análisis granulométrico les dio una gradación de diseño MAC 1 por las proporciones que pasaban dentro de los rangos establecidos, obteniendo porcentajes de 45% de piedra chancada, 52% de arena gruesa y un 3% de filler, esto depende del lugar de procedencia de los agregados a utilizar, por ende en comparación con los resultados que se obtuvieron difiere con un MAC 2, con los porcentajes de 39.2% de piedra chancada (grava), 56.1 % de arena y 4.7 % fino; sin importar el tipo de MAC que se obtenga el análisis granulométrico es indispensable para dar inicio al método Marshall, lo cual en ambos tipos de MAC fue realizado para diseñar la mezcla asfáltica modificada con caucho en diferentes proporciones.

Farfán y Romero (2019) diseñaron un total de 12 briquetas como mezcla convencional y 12 briquetas como mezcla experimental 1.5% de caucho reciclado granular, donde su porcentaje óptimo de cemento asfáltico fue de 5.5% y el óptimo de caucho fue 5.3%, la mezcla resultó ser más viscosa superando a la mezcla patrón; Hoyos, Muñoz y Pulcon (2021), indicaron que cuando el porcentaje óptimo de las mezclas asfálticas tienen relación directa de cómo se añade el caucho reciclado, cuando el caucho reemplaza al asfalto en su peso total, su óptimo varía en un 20% y cuando se incorpora al agregado el óptimo varía entre el 1 % y 3% del peso del agregado y cuando él se pretende agregar a la muestra total, el óptimo es 1%, estas pautas dieron resultados positivos garantizando la resistencia y vida útil superior; Qassim (2020), trabajó los porcentajes de 3%, 6% y 9% para las pruebas de Marshall ASTM D1559, utilizando un asfalto pen 60/70, para determinar la estabilidad, flujo, densidad aparente y los vacíos de aire, obteniendo un como óptimo porcentaje de caucho si es aglutinante normal de 6% y el óptimo aglutinante en mezclas bituminosas oscila entre 5.1 % y 5.5%.

En la presente investigación se realizaron 25 briquetas control, 5 con cada porcentaje de asfalto (4.0 %, 5%, 5.5%, 6% y 6.5%), donde el óptimo porcentaje

de asfalto fue de 5.8% (se trabajó con 6%), y 30 briquetas experimentales, 5 con cada porcentaje de gránulos de caucho reciclado (0.5%, 1%, 2.5%, 3.5%, 4.5% y 5.5%), en el cual el óptimo porcentaje de caucho fue de 2.3 % (se trabajó con 2.5%), la mezcla realizada disminuyó considerablemente su viscosidad desde 14.29 a 4.11.

Almusawi, et al (2020) de acuerdo con la estabilidad, los autores identificaron la pérdida de resistencia cuando se le agrega más caucho a la mezcla. Los porcentajes que trabajaron para la obtención de la estabilidad, fue entre 4.5% y 5.5%. Además, la propiedad de cohesión tiende a actuar directamente a la estabilidad de la muestra, siendo esta la capacidad de unión del betún y el aumento del contenido de betún; Wang y Xian (2021) aplicaron porcentajes de 1%, 2% y 3%, para el proceso seco, reemplazando con el agregado fino el caucho, teniendo en consideración que el caucho no debe exceder a 4.75 mm, para poder obtener mejor estabilidad de la mezcla asfáltica.

Hoyos, Muñoz y Pulcon (2021) teniendo como resultado la aplicación del 12% de caucho que duplica su estabilidad con respecto a la muestra patrón sin la incorporación del granulo de caucho; en nuestra investigación se obtuvo que en la mezcla patrón (6% de asfalto y 0% de caucho reciclado) la estabilidad fue de 1220.48 kN y las experimentales iban en incremento desde el 0.5% de caucho con 2386.8 kN casi el doble de la mezcla patrón hasta 2645 kN en el porcentaje de 4.5% de caucho, resultando similar a lo obtenido por los autores anteriormente mencionados.

Farfán y Romero (2019) a diferencia de la mezcla convencional que tuvo un flujo de 3.5 mm, la incorporación de granulo de caucho aumento hasta 3.8 mm; Cando, et al (2019) en su investigación trabajaron con porcentajes de 25%, 50%, 75% y 100% de gránulos de caucho en reemplazo de agregado fino, respecto a ello notaron que mientras más se adicionaba caucho su fluencia incrementaba de igual manera, es decir que resultaba proporcional a la cantidad de residuo de adición de caucho a la mezcla, dentro de los valores permitidos, se obtuvieron 14 centésimas de pulgada, que estaban incluido en los parámetros del flujo por

la norma AASHTO , por otro lado Qassim (2020) en sus aplicaciones para el flujo, mientras más se agregaba gránulos de caucho, más elevaba su desplazamiento, teniendo como optimo resultado para el flujo de 6%, siendo 9 % , su máximo de 4.4 mm en este caso. Respecto a nuestra investigación el flujo se observó todo lo contrario a los autores, en la mezcla patrón (0% gránulos de caucho) el flujo es de 14.29 mm, esto va descendiendo considerablemente cuando se aplicó el 0.5% de caucho, llegando a un 3.54 mm, el cual se mantuvo con cantidades similares en los porcentajes siguientes, donde la diferencia entre uno y otro no fue mayor al 1 mm.

Almusawi et al (2020) en su investigación indican que el porcentaje de vacíos total de la mezcla (VTM) es relación opuesta que tiene los vacíos de mezcla total con los óptimos de asfalto, teniendo un rango recomendable de 3% a 5 %; a su vez consideran que un bajo contenido de VMT es beneficioso para la reducción del envejecimiento del pavimento, lo cual resumieron en que mientras más alto es el porcentaje de asfalto mayor es la reducción en los porcentajes de mezcla total, esto se cumplió tanto en mezcla patrón como la experimental con 1.5 % de caucho reciclado; esto difiere de la investigación que presentamos, debido a que sucede todo lo contrario, es decir respecto al VTM se observa que la mezcla patrón (0% caucho) tiene un valor 2.46 %, el cual incrementa conforme se adiciona mayor cantidad de caucho en reemplazo de agregado fino.

Cando et al, (2019) indican que los resultados obtenidos para los porcentajes de vacíos llenos con asfalto (VFA), al incorporar gránulos de caucho llegan a aumentar hasta un 75 %, dando como mínimo promedio de 65.3% que se encuentra en el rango establecido de 65% a 75%, sugiriendo que la mezcla sea apta para propiciar mejores características volumétricas que ayudan a la durabilidad del asfalto.

Respecto al VFA obtenido en nuestra investigación difiere puesto que, en la mezcla patrón (0 % de caucho) se obtuvo 84.24% mientras que conforme se agregaba porcentajes de caucho en reemplazo del agregado fino esta iba

decaendo, considerando a la mezcla patrón un 100%, al llegar al porcentaje de 4.5 % de caucho el VFA paso a quedar en 38.83%.

Cando et al (2019) en cuanto a los VMA indico que fueron directamente proporcionales en un 50% en la adición de caucho, viéndose una reducción de 75 % de adición de residuo de caucho, obteniendo un valor de 18.3 % , este valor considerándose superior al valor mínimo establecido (14%) , obteniéndose una mejora en cuanto al resultado sin agregado de caucho en donde se obtiene mezclas poco durables en comparación con pavimentos con agregados de caucho; respecto a nuestra investigación el VMA comprende 15.6% en la mezcla patrón y sufre un incremento poco considerable pero constante, llegando a obtener 18.41% en el porcentaje más elevado de caucho (4.5%), es decir comparte la conclusión a la que llego el autor, respecto a que si incrementa por ende mejora la duración.

VI. CONCLUSIONES

1. En el estudio de mecánica de suelos se realizó el ensayo de desgaste por abrasión, inalterabilidad de los agregados al sulfato de magnesio, equivalente de arena, contenido de sales solubles en agua, ensayo para determinación de partículas chatas y alargadas en agregados, el análisis granulométrico, contenido de humedad evaporable de los agregados, método de prueba estándar para densidad relativa (Gravedad específica) y absorción de agregados extraídos de la cantera San Martín ubicada en la Carretera Panamericana Norte Km 570.5 El Milagro (Trujillo); en el ensayo de desgaste por abrasión nos resultó en una gradación C con un promedio de desgaste de 17.5%; respecto a la inalterabilidad del agregado fino y grueso al sulfato de magnesio 8.23% y 8.14% respectivamente; para el equivalente de arena se obtuvo un promedio de 67%; el contenido de sales solubles 0.04% para agregado fino y grueso; para las partículas chatas y alargadas del agregado grueso y fino, se obtuvo una masa total de 2308.3 gr y 1235 gr respectivamente; para el análisis granulométrico se obtuvo un MAC-2 con 39.2% de grava, 56.1% de arena y 4.75 % de fino; a su vez se obtuvo 1.82% y 1.99% de contenido de humedad promedio para agregado grueso y fino, por último la absorción de agregado fino y grueso obtuvo los valores de 1.16% y 0.48% respectivamente
2. Se fabricaron 25 briquetas control, 5 con cada porcentaje de asfalto (4.0 %, 5%, 5.5%, 6% y 6.5%), donde el óptimo porcentaje de asfalto fue de 5.8% (se trabajó con 6%) con una estabilidad de 1220.48 kg, y 30 briquetas experimentales, 5 con cada porcentaje de gránulos de caucho reciclado en reemplazo de agregado fino (0.5%, 1% 2.5%, 3.5%,4.5% y 5.5%), en el cual el óptimo porcentaje de caucho fue de 2.3 % (se trabajó con 2.5%) con una estabilidad de 2501.20 kg; ambos cumpliendo los mínimos permitidos según MTC-13.
3. La comparación de la mezcla asfáltica patrón en caliente y la mezcla asfáltica patrón con adición de gránulos de caucho dio como resultados, estabilidad 1220.48 kg a 1134.22kg , se determinó la normalidad grupo control y grupos experimentales dando 0.020 <0.05, es decir si hay

diferencia significativa, por ello se pasó a utilizar la prueba Kruskal-Wallis donde $0.059 > 0.05$, es decir no existe diferencia significativa; flujo 14.29 mm (patrón) a 4.11 mm (caucho), se determinó la normalidad grupo control y grupos experimentales dando $0.000 < 0.05$, es decir si hay diferencia significativa, por ello se pasó a utilizar la prueba Kruskal-Wallis donde $0.026 < 0.05$, es decir si existe diferencia significativa, luego se utilizó la prueba U de Mann-Whitney donde se obtuvo $0.000 < 0.05$, es decir si hay diferencia significativa; densidad 2.339 gr/cm³ a 2.232 gr/cm³, se determinó la normalidad grupo control y grupos experimentales dando $0.000 < 0.05$, es decir si hay diferencia significativa, por ello se pasó a utilizar la prueba Kruskal-Wallis donde $0.003 < 0.05$, es decir si existe diferencia significativa, luego se utilizó la prueba U de Mann-Whitney donde se obtuvo $0.000 < 0.05$, es decir si hay diferencia significativa; VTM 2.46% (patrón) a 8.4% (caucho), siendo los criterios de 3% al 5%, pero en campo se permite valores de hasta el 8%, siendo el resultado del patrón menor al mínimo recomendado y el resultado de caucho el máximo permitido,, se determinó la normalidad grupo control y grupos experimentales dando $0.000 < 0.05$, es decir si hay diferencia significativa, por ello se pasó a utilizar la prueba Kruskal-Wallis donde $0.004 < 0.05$, es decir si existe diferencia significativa, luego se utilizó la prueba U de Mann-Whitney donde se obtuvo $0.000 < 0.05$, es decir si hay diferencia significativa; VMA 15.6 % a 18.41 % , se determinó la normalidad grupo control y grupos experimentales dando $0.000 < 0.05$, es decir si hay diferencia significativa, por ello se pasó a utilizar la prueba Kruskal-Wallis donde $0.004 < 0.05$, es decir si existe diferencia significativa, luego se utilizó la prueba U de Mann-Whitney donde se obtuvo $0.000 < 0.05$ en todas las combinaciones , menos en la combinación VMA_PATRON con VMA_b con $0.189 > 0.05$ es decir si hay diferencia significativa en todas las combinaciones menos en la mencionada; VFA 84.24 % a 32.71 % , se determinó la normalidad grupo control y grupos experimentales dando $0.000 < 0.05$, es decir si hay diferencia significativa, por ello se pasó a utilizar la prueba Kruskal-Wallis donde $0.003 < 0.05$, es decir si existe diferencia significativa, luego se utilizó la prueba U de Mann-Whitney donde se obtuvo $0.000 < 0.05$, es decir si hay diferencia significativa.

VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda, verificar la calidad de los agregados antes de realizar los ensayos de estudios de suelos, ya que estos varían, dependiendo la zona en donde se quiera trabajar, influyendo en la obtención de los óptimos contenidos de betún y óptimo de betún más caucho.
2. Se recomienda a las autoridades, implementar sistemas para un mejor manejo y aprovechamiento de las llantas en desuso, como también plantas procesadoras de caucho, para la aplicación de procesos que brindan mejores resultados, como son el proceso húmedo.
3. Se recomienda a los futuros investigadores, aplicar nuevos porcentajes, teniendo como partida, los porcentajes ya realizados en este estudio, teniendo en consideración, las temperaturas a trabajar en el proceso de Marshall, ya que pueden variar en los resultados que se esperan obtener.

REFERENCIAS

ALMUSAWI, Ali, ABDULRAHMAN, Hassan, SHAKHAN, Mohammad y DOĞAROĞLU, Bora. Effects of crumb rubber size and concentration on Marshall parameters of rubberized asphalt mixture. Revista de ciencias de la ingeniería de la universidad de Pamukkale. [en línea]. Vol. 26, 13 de febrero de 2020 [Fecha de consulta: 14 de setiembre de 2021].

Disponible en: <https://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=fcd7e5ae-c2f3-42a8-8624-68c05baaf567%40sdc-v-sessmgr01&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHtbGI2ZQ%3d%3d#AN=147330584&db=a9h>

ISSN: 1048-1052

ASTM, 2006, ASTM C136.06, Método de ensayo normalizado para determinar el análisis granulométrico de los áridos finos y grueso. [en línea]. [Fecha de consulta: 03 de mayo de 2022].

Disponible en: <https://www.astm.org/astm-tpt-165.html>

ASTM, 2015, ASTM C127.15, Método para la prueba estándar para la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agregados grueso. [en línea]. [Fecha de consulta: 03 de mayo de 2022].

Disponible en: <https://www.astm.org/standards/c127>

ASTM, 2012, ASTM C128.12, Método para la prueba estándar para la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agregados finos. [en línea]. [Fecha de consulta: 03 de mayo de 2022].

Disponible en: <https://www.astm.org/standards/c128>

ASTM, 2006, ASTM C131, Método de ensayo normalizado para la resistencia a la degradación de los agregados gruesos en tamaño pequeño por el método de abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles. [en línea]. [Fecha de consulta: 03 de mayo de 2022].

Disponible en: <https://www.astm.org/standards/c131>

ASTM, 2013, ASTM C88, Método de prueba estándar para determinar la solidez de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. [en línea]. [Fecha de consulta: 03 de mayo de 2022].

Disponible en: <https://www.astm.org/standards/c88>

ASTM, 2019, ASTM C566-19, Método de prueba estándar para el contenido de humedad evaporable del agregado por secado. [en línea]. [Fecha de consulta: 03 de mayo de 2022].

Disponible en: <https://www.astm.org/standards/c566>

ASTM, 2014, ASTM D2419-14, Método de prueba estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregados finos. [en línea]. [Fecha de consulta: 03 de mayo de 2022].

Disponible en: <https://www.astm.org/d2419-14.html>

ASTM, 2019, ASTM D4791-19, Método de prueba estándar para las partículas planas, partículas alargadas o partículas planas y alargadas en el agregado grueso. [en línea]. [Fecha de consulta: 03 de mayo de 2022].

Disponible en: <https://www.astm.org/standards/d4791>

BLAZEJOWSKI Krzysztof, GAWDZIK Barbara y MATYNIA Tadeusz. Effect of Recycled Rubber on the Properties of Road Bitumen. Journal of Chemistry. [en línea]. vol 2018. [Fecha de consulta: 14 de setiembre de 2021].

Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2132905906/A88DE80AB85224CE6PQ/4?accountid=37408>

CANDO et al. Effect of incorporation by dry procedure of rubber residue obtained after removal of an airport runway in asphalt AC-20 [en línea], vol 43 n°1 Ecuador, Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, 2020 [Fecha de consulta: 20 de abril de 2022].

Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/6057/605764200003/html/>

CARBAJAR, Tannia. Uso y reutilización de residuos de caucho en pavimentos. [en línea]. octubre 2019. [Fecha de consulta: 16 de octubre de 2021].

Disponible en: <http://editorial.umariana.edu.co/revistas/index.php/BoletinInformativoCEI/article/view/2148>

CASAS, Jorge. Estudio comparativo del comportamiento mecánico y características físicas en el concreto adicionado con Grano de Caucho Reciclado GCR y P Caucho Reciclado GCR y Polietileno Tereftalato PET como reemplazo del agregado fino para la fabricación de unidades de mampostería para pavimentos. Tesis. (Titulación de Ingeniero Civil). COLOMBIA: Universidad de La Salle. 2018

Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1338&context=ing_civil

CASTRO Andrea, MARTÍNEZ Gilberto y FUENTES Luis. Efecto de la adición del polvo de llantas desechadas en mezclas asfálticas en frío con el 100% de agregados reciclados. [en línea]. octubre 2021. [Fecha de consulta: 16 de octubre de 2021].

Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/310316410_Efecto_de_la_adicion_del_polvo_de_llantas_desechadas_en_mezclas_asfalticas_en_frio_con_el_100_de_agregados_reciclados

CHUNLIWU, Li, YONGCHUNCHENG, Gu, ZEHUA, Renbingwang y BAIGENG, Guan. Performance of Diatomite and Basalt Fibers on Pavement Performance and Vibration Attenuation of Waste Tires Rubber-Modified Asphalt Mixtures Revista Hindawi Problemas matematicos en ingeniería. [en línea]. Vol. 2020, 20 de noviembre del 2020 [Fecha de consulta: 14 de setiembre de 2021].

Disponible en: https://eds.b.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=19&sid=86fbbb_a4-f3e8-44ec-8663-7afe44a06a0%40sessionmgr103&bdata=Jmxhbm9ZXM8mc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=147111156&db=a9h

ISSN:1024-123X

CONTRERAS, Jamil y RIOS, José. Uso de materiales reciclables en el asfalto para pavimento rurales [en línea]. [Fecha de consulta: 23 de setiembre de 2021].

Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/27452>

DESHMUKH, Nitu. Utilization of Rubber Waste in Construction of Flexible Pavement. Revista internacional de investigación y desarrollo avanzados. [en línea]. 2017 vol. 2 n°7. [Fecha de consulta: 25 de setiembre de 2021].

Disponible en: <https://www.ijarnd.com/manuscript/utilization-of-rubber-waste-in-construction-of-flexible-pavement/>

DELGADO, Horacio. Diseño de mezclas asfálticas densas en caliente en función del nivel de tránsito. Instituto Mexicano de transporte [en línea] 2020. [Fecha de consulta: 28 de mayo de 2022].

Disponible en:

<https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt602.pdf>

FIGUEROA, Ana y FONSECA, Elsa. Desempeño del pavimento con mezcla reciclada-RAP y grano de caucho reciclado-GCR. Revista infraestructura Vial. [en línea]. Vol. 22, 31 de julio del 2020 [Fecha de consulta: 14 de setiembre de 2021].

Disponible en: <https://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=004f4bd4-8c5f-4137-b8a4-c81f13dd05f6%40sdc-v-sessmgr02&bdata=Jmxhbmc9ZX Mmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=152370962&db=iih>

ISSN: 1409-4045

FLORES et al, Uso de Grano de Caucho Reciclado para mejorar la resistencia y durabilidad en pavimentos: una revisión literaria [en línea], 15 de marzo de 2022, [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2022].

Disponible en: <https://revistas.uees.edu.ec/index.php/IRR/article/view/647>

GHABCHI, Rouzbeh, ARSHADI, Amir, ZAMAN, Musharraf y MARCH, Ferella. Technical Challenges of Utilizing Ground Tire Rubber in Asphalt Pavements in the United States. Revista Materiales. [en línea]. Vol. 14, 10 de agosto de 2021[Fecha de consulta: 14 de setiembre de 2021].

Disponible en: <https://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=8e2249ee-e3c9-4e07-87ae-c87615cce716%40sdc-v-sessmgr03&bdata=Jmxhbmc9ZX Mmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=152146652&db=a9h>

GONZALES, Jonathan y QUISPE, Milagros. Diseño de mezcla asfáltica en caliente con incorporación de grano de caucho reciclado en pavimento flexible, Av. Santa Rosa, 2019. Tesis (Titulación de Ingeniero Civil). PERU: Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Carrera de Ingeniería Civil, 2019.

Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/50461>

Hassan, Ziari, HASSAN, Divandari, SEYED, Mohammad y SEYED, Mohsen. Investigation of the Effect of Crumb Rubber Powder and Warm Additives on Moisture Resistance of SMA Mixtures. Revista Hindawi avances en ingeniería civil. [en línea]. Vol. 2021, 14 de abril de 2021 [Fecha de consulta: 14 de setiembre de 2021].

Disponible en: <https://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=26f7e659-e92b-4f9b-a077-67e2197578f1%40sdc-v-sessmgr01&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=149803708&db=iih>

HUANG, Jiandong y SUN, Yuantian. Viscoelastic Analysis of the Damping Asphalt Mixtures (DAMs) Made with a High Content of Asphalt Rubber (AR). Hindawai Avances en ingeniería civil [en línea]. Vol. 2020, 28 de octubre del 2020 [Fecha de consulta: 14 de setiembre de 2021].

Disponible en: <https://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=e460521c-589b-4967-a515-0b9809ad1a93%40sdc-v-sessmgr02&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#db=iih&AN=146678637>

INDECOPI, 2001. NTP 400.012, AGREGADOS. Análisis granulométrico, del agregado fino, grueso y global. [en línea].S.l: s.n, [Fecha de consulta: 03 de mayo de 2022].

Disponible en:

<https://pdfcookie.com/documents/ntp-400012-granulometria-eg27wgz9d0l0>

JADIDI, Kazem, KHALILI, Mehdi, KARAKOUZIAN, Moisés y AMIRKHANIAN, Serji. Toughness, Tenacity and Maximum Initial Strength of Rubber Modified Asphalt Binders. Revista de Investigación en ingeniería, tecnología y ciencias aplicadas. [en línea]. Vol. 9, 2019 [Fecha de consulta: 14 de setiembre de 2021].

Disponible en: <https://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=c6c8cd9-6a5e-4f62-896e-ca50bfd2098f%40sessionmgr4008&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=134817873&db=iih>

LI, Liu, YOU, Huang y ZHAOHUI, Liu. Laboratory Evaluation of Asphalt Binder Modified with Crumb Rubber and Basalt Fiber. Hindawai Avances en ingeniería civil [en línea]. Vol. 2020, 05 de agosto del 2020 [Fecha de consulta: 14 de setiembre de 2021].

Disponible en: <https://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=10&sid=9b7368cf-c701-4027-99ea-82b2c553a204%40sessionmgr4007&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=144947590&db=iih>

LUBO, Orlando y MARTINEZ, Roiman. Asfaltos modificados con cauchos en vías primarias en las ciudades Santa Marta, Barranquilla y Bogotá como alternativa de mejoramiento de la capa de rodadura de los pavimentos flexibles entre los años 2012-2019 [en línea]. 2019 [Fecha de consulta: 23 de abril de 2022].

Disponible en: https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/15630/2/2019_asfaltos_modificados_cuchos.pdf

LUSHINGA, Nonde, LIPING, Zejiao y CHEN, Cyriaque. Performance Evaluation of Crumb Rubber Asphalt Modified with Silicone-Based Warm Mix Additives. Hindawai Avances en ingeniería civil [en línea]. Vol. 2020, 30 de setiembre del 2020 [Fecha de consulta: 14 de setiembre de 2021].

Disponible en: <https://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=3b5ff823-595d-4cf2-9266-f85f0f553795%40sessionmgr4008&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=146172150&db=iih>

ISSN:1687-8086

MACEDO, Sergio y URETA, Cristian. Influencia del caucho reciclado utilizado como agente modificante en los parámetros de diseño de una mezcla asfáltica. Tesis (Titulación de Ingeniero Civil). PERU. Universidad Ricardo Palma, 2020.

Disponible en: <http://168.121.49.87/handle/URP/3681>

MAKOUNDU, Christina, JOHANSSON, Kenth, WALLQVIST, Viveca y SANGIORGI, Cesare. Functionalization of Crumb Rubber Surface for the Incorporation into Asphalt Layers of Reduced Stiffness: An Overview of Existing Treatment Approaches. Revista Reciclaje [en línea]. Vol. 6, 08 de marzo del 2021 [Fecha de consulta: 14 de setiembre de 2021].

Disponible en: <https://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=11&sid=9b7368cf-c701-4027-99ea-82b2c553a204%40sessionmgr4007&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=149683539&db=eih>

MANTILLA, Javier y CASTAÑEDA, Alberto. Estudio experimental del efecto del caucho reciclado y el asfaltito en el desempeño del asfalto. Revista DYNA. [en línea]. Enero-marzo 2019. [Fecha de consulta: 22 de setiembre de 2021].

Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2211942940/DA101C6CC9294BC7PQ/3?accountid=37408>

ISSN: 0012-7353

MANTILLA, Javier y CASTAÑEDA, Eduardo. Assessment of simultaneous incorporation of crumb rubber and asphaltite in asphalt binders. Dyna [en línea]. 2019, 86 (208), 257-263 [fecha de Consulta 16 de noviembre de 2021].

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49660955032>

ISSN: 0012-7353

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2016, Manual de ensayo de materiales. S.l: s.n, [Fecha de consulta: 03 de mayo de 2022].

Disponible en:

http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_3_729.pdf

MUNIZ, Marcio, QUIÑÓÑEZ, Ferney y RONDON, Hugo. Behavior of a hot mix asphalt made with recycled concrete aggregate and crumb rubber. Canadian Journal of Civil Engineering. [en línea]. Vol. 48, 05 de diciembre de 2018 [Fecha de consulta: 14 de setiembre de 2021].

Disponible en: <https://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=4de5b758-fb5c-439d-b6e7-06b8e34bbcb1%40sessionmgr4008&bdata=Jmxhbmc9ZX Mmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=136789724&db=eih>

ISSN:1208-6029

ISSN:0315-1468

OLUA, Manuel y SALAMANCA, Edwin. Análisis técnico y económico de pavimentos con incorporación de asfaltos modificados con grano de caucho reciclado. Tesis. (Titulación de Especialista de Ingeniería de Pavimentos). COLOMBIA: universidad católica de Colombia.2021

Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/26358>

PELAÉZ, Gabriel, VELÁSQUEZ, Sandra y GIRALDO, Diego. Aplicaciones de caucho reciclado: una revisión de la literatura. Revista ciencia e ingeniería Neogranadina [en línea]. Vol. 27, 2017 [Fecha de consulta: 14 de setiembre de 2021].

Disponible en: <https://eds.b.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=93aea86c-83ea-49c1-8ecd-e14e6f7703b7%40sessionmgr102&bdata=Jmxhbmc9ZX Mmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#db=fua&AN=123557382>

ISSN: 0124-8170

ORDÓÑEZ, Mario, LOOR, Francisco y SALVATIERRA, Alex. Análisis comparativo del comportamiento mecánico del hormigón tradicional vs hormigón con inclusión de caucho reciclado = Análisis comparativo del comportamiento mecánico del hormigón tradicional vs hormigón incluyendo caucho reciclado. Revista canales de edificación [en línea]. Vol. 5, 2019 [Fecha de consulta: 14 de setiembre de 2021].

Disponible en:

http://polired.upm.es/index.php/anales_de_edificacion/article/view/4040/4125

ISSN: 2444-1309

PALOMINO Karol y CARDOZA Marí Alejandra. Pavimento flexible utilizando una mezcla asfáltica con grano de caucho reciclado para su sostenibilidad en Colombia. [en línea]. 05 de junio de 2019 [Fecha de consulta: 16 de setiembre de 2021].

Disponible en: <http://revistas.unitecnar.edu.co/index.php/sth/article/view/16>

PATIÑO, Leidy y RODRIGUEZ, María. Llantas usadas: materia prima para pavimentos y múltiples eco-aplicaciones. [en línea]. Vol 5, 15 de diciembre de 2017 [Fecha de consulta: 20 de setiembre de 2021].

Disponible en:

<https://scholar.archive.org/work/kepzfj4rnzg4ff37yerl2ds3ye/access/wayback/https://journal.universidadean.edu.co/index.php/Revistao/article/download/2004/1775>

PEREZ, Roberto y SAIZ, Leticia. Reciclado de neumáticos: transformación de un residuo en un recurso. Revista de plásticos modernos. [en línea]. Enero 2018. N° 730 [Fecha de consulta: 22 de setiembre de 2021].

Disponible en: <https://www.signus.es/wp-content/uploads/2018/04/reciclado-de-neumaticos-transformacion-de-un-residuo-en-un-recurso.pdf>

PULCON, Katyuska, HOYOS, Luz y MUÑOZ, Sócrates. Uso del caucho granulado en mezclas asfálticas. Revista infraestructura vial. [en línea]. vol. 23 n°41, febrero 2021 [Fecha de consulta: 23 de setiembre de 2021].

Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-37052021000100011&script=sci_arttext

ISSN: 2215-3705

QASSIM, Wissam. Using Crumb Rubber to Improve the Bituminous Mixes: Experimental Investigation of Rutting Behavior of Flexible Asphalt Mix for Road Construction. [en línea]. 2020, [Fecha de consulta: 03 de mayo de 2022].

Disponible en:

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1527/1/012015>

RODRIGUEZ, Ellen. Uso de polvo de caucho de llantas en pavimentos asfálticos. [en línea]. Vol 7, abril 2016 [Fecha de consulta: 16 de setiembre de 2021].

Disponible en: <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/50625112500/316/4.pdf?sequence=1>

SOLANO, Jason; ORELLANA, Jordi. Dosificación óptima en pavimento flexible de asfalto y caucho reciclado utilizando materiales de la región. Tesis (Titulación de Ingeniero Civil). ECUADOR: Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil, 2019.

Disponible en <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/33528>

Martínez, Gilberto [et al] Thirteen Years of Continuous Development in Crumb Rubber Modified Asphalt Mixtures in Bogota: Achieving Pavement Sustainability. Revista Ingeniería de Construcción RIC [en línea]. vol. 33 N° 1, febrero 2018. [Fecha de consulta: 29 de setiembre de 2021].

Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85048699366&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=07451be72480f113bdc6f104ef2f4f08&sot=b&sdt=cl&cluster=scopubyr%2c%222019%22%2ct%2c%222018%22%2ct%2c%222016%22%2ct%2bscosubjabbr%2c%22ENGI%22%2ct&sl=31&s=TITLE-ABS-KEY%28caucho+reciclado%29&relpos=1&citeCnt=&searchTerm=>

VIDAURRE, José y MUÑOZ, Sócrates. Uso del caucho de neumáticos triturados y aplicados al concreto. Revista de investigación talentos. [en línea]. Enero- junio 2021. [Fecha de consulta: 26 de setiembre de 2021].

Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Socrates-Munoz-Perez/publication/352849105_USO_DEL_CAUCHO_DE_NEUMATICOS_TRITURADOS_Y_APLICADOS_AL_CONCRETO_UNA_REVISION_LITERARIA/links/60e87a6c0fbf460db8f5bcf8/USO-DEL-CAUCHO-DE-NEUMATICOS-TRITURADOS-Y-APLICADOS-AL-CONCRETO-UNA-REVISION-LITERARIA.pdf

ISSN: 2631-2476

VIJAY, Sivapriya. Stress-strain and penetration characteristics of clay modified with crumb rubber. Facultad de Ingeniería [en línea]. 2018, 27 (49), 65-75 [fecha de Consulta 2 de noviembre de 2021].

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=413958019006>

ISSN: 0121-1129

WANG, Ya, WANG, Xianguang y ZHANG, Liwen. Pavement and Noise Reduction Performance of Open-Graded Asphalt Friction Course Improved by Waste Tire Crumb Rubber. Revista Hindawi avances en ingeniería civil [en línea]. Vol. 2021, 23 de agosto de 2021 [Fecha de consulta: 14 de setiembre de 2021].

Disponible en:

http://polired.upm.es/index.php/anales_de_edificacion/article/view/4040/4125

ISSN: 2444-1309

WULANDARI, PS; KEERTORAHARDJO, K; THESMAN, A; TJANDRA, D. Effect of Crumb Rubber as Fine Aggregate Replacement in Cold Mixture Asphalt. Revista Dimensión de ingeniería civil. [en línea]. Vol. 21, setiembre de 2019[Fecha de consulta: 14 de setiembre de 2021].

Disponible en: <https://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=4de5b758-fb5c-439d-b6e7-06b8e34bbcb1%40sessionmgr4008&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=136789724&db=eih>

ISSN:1979-570X

ISSN:1410-9530

XIA, Caiyun, CHEN, Mingyuan, GENG, Jiuguang, LIAO, Xiaofeng y CHEN, Zhongda. Swelling and Degradation Characteristics of Crumb Rubber Modified Asphalt during Processing. Revista Hindawi Problemas matemáticos en ingeniería [en línea]. Vol. 2021, 04 de febrero de 2021 [Fecha de consulta: 14 de setiembre de 2021].

Disponible en: <https://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=0499d4a6-3914-47c2-9337-ae73ca3eec43%40sessionmgr4006&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbi2ZQ%3d%3d#AN=148495913&db=a9h>

YANG, Luo y GUOCUI, Teng. Self-Healing Performance of Rubber-Modified Asphalt. Revista de investigación en ciencias ambientales y de la tierra. [en línea]. Vol. 8, No.2. junio de 2021 [Fecha de consulta: 14 de setiembre de 2021].

Disponible en: <https://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=9&sid=9b7368cf-c701-4027-99ea-82b2c553a204%40sessionmgr4007&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbi2ZQ%3d%3d#AN=151358980&db=eih>

ISSN:2369-5668

YAO, Zechen; YANG, Renfeng; LIU, Zhonglin; AN, Haichao; ZHANG, Qingzhe; YUAN, Wei. Study on the Applicability of Needle/Cone Penetration Experiment for Asphalt-Rubber. Revista Hindawi Avances en ingeniería civil [en línea]. Vol. 2020, 24 de septiembre 2020 [Fecha de consulta: 14 de setiembre de 2021].

Disponible en: <https://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=a1872eaa-9e54-4d56-b44d-1353f6e44dac%40sessionmgr4006&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbi2ZQ%3d%3d#AN=146051243&db=iih>

ANEXOS

Anexo 1 y 2. Matriz de operacionalización.

| Variables | Variable de estudio | Definición Conceptual | Definición Operacional | Dimensiones | Indicadores | Escala de Medición |
|------------------------|--|--|---|---|--|--------------------|
| VARIABLE INDEPENDIENTE | Gránulos de caucho reciclado | Según García (2017) es lo que se obtiene después de triturar el caucho de las llantas usadas, los cuales forman parte del desecho de los vehículos de transporte, dándole así la denominación de grano de caucho reciclado GCR se compone de caucho triturado mecánicamente, no tóxico. | MC-06-16: Manual de ensayo de materiales (Estandariza método y procedimientos para la ejecución de ensayos de laboratorio y de campo, de los materiales en infraestructuras viales) MC-01-13: Especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013 (uniformizar las condiciones, requisitos, parámetros y procedimientos de las actividades relativas a las obras de infraestructura vial) | Porcentaje de gránulos de caucho reciclado | % de gránulos de caucho reciclado: 0.5%, 1%, 2.5%, 3.5%, 4.5% y 5.5% | De razón |
| VARIABLE DEPENDIENTE | Propiedades mecánicas, físicas y volumétricas de la mezcla asfáltica en caliente | Las propiedades mecánicas en presentan las mezclas asfálticas, son responsables del comportamiento de los mismo bajo acción de fuerzas externas, continuas o discontinuas, estáticas, dinámicas o cíclicas. Por lo tanto, el estudio de las propiedades mecánicas en la mezcla asfáltica es muy importante al momento de elegir los materiales para su elaboración. (ARENAS, Jesús; BOTELLO, Andrés; MONSIVAIS, Guillermo; ORDÓÑEZ, Cesar; SANCHEZ, Francisco, 2020). Para la Dirección general de servicios técnicos (1987), las propiedades físicas, se encargan de determinar su calificación de las capacidades que tiene el asfalto. Por su parte el Instituto Mexicano de transporte (2020), cuando nos referimos a propiedad volumétrica de la mezcla asfáltica, es la composición en termino de volumen o masa, considerando 3 componentes que son asfalto, agregado y aire. Teniendo de 6 a 12%, 84 a 90% y 4 % respectivamente. | NTP 400.12: Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. (determinación de la distribución por tamaño de partículas del agregado global por tamizado). ASTM D2419: Equivalente de arena ASTM C128: Densidad relativa y absorción de agregado fino ASTM C127: Densidad relativa y absorción de agregado fino ASTM C88: Interactividad de los agregados al sulfato o magnesio ASTM C566: Contenido de humedad de los agregados. MTC 219: Contenido de sales solubles en los agregados. ASTM D 4791: Ensayo para determinación de partículas chatas y alargadas en agregados Para determinar la estabilidad y flujo del diseño de mezcla asfáltica en caliente utilizando la prensa Marshall AASHTO T245: Pruebas de estabilidad y flujo Marshall MC-06-16: Manual de ensayo de materiales (Estandariza método y procedimientos para la ejecución de ensayos de laboratorio y de campo, de los materiales en infraestructuras viales) Norma técnica E-010 pavimentos urbanos (técnicas de exploración e investigaciones de campo y laboratorio, así como técnicas de control de calidad). MC-05-14: Suelos geología, geotécnica y pavimentos- SECCION SUELOS Y PAVIMENTOS | Estudio de Mecánica de Suelos Método Marshall Comparación y análisis estadísticos de resultados | <p>Ensayo de desgaste por abrasión</p> <p>Inalterabilidad de los agregados al sulfato de magnesio</p> <p>Equivalente de arena</p> <p>Contenido de sales solubles en agua</p> <p>Ensayo para determinación de partículas chatas y alargadas en agregados</p> <p>Análisis Granulométrico</p> <p>Contenido de humedad evaporable de los agregados</p> <p>Método de prueba estándar para densidad relativa (Gravedad específica) y absorción de agregados</p> <p>Diseño de mezcla asfáltica patrón en caliente con PEN 60/70 al 4.50%, 5%, 5.50%, 6% y 6.5%</p> <p>Determinar la estabilidad, flujo, densidad, porcentaje de vacíos total de la mezcla (VTM), porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) y porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica patrón en caliente con PEN 60/70</p> <p>Diseño de mezcla asfáltica patrón en caliente modificada con caucho</p> <p>Determinar la estabilidad, flujo, densidad, porcentaje de vacíos total de la mezcla (VTM), porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) y porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica patrón en caliente modificada con caucho</p> <p>estabilidad, flujo, densidad, porcentaje de vacíos total de la mezcla (VTM), porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) y porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica patrón en caliente</p> <p>estabilidad, flujo, densidad, porcentaje de vacíos total de la mezcla (VTM), porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) y porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica patrón en caliente modificada con caucho</p> | De razón |

MATRIZ DE OPERACIONALIZACION

VARIABLES

| PROBLEMA | HIPOTESIS | OBJETIVOS | VARIABLES | DIMENSIONES | INDICADOR(ES) | TIPO DE INV. | DISEÑO DE INV. |
|--|--|---|--|---|--|--------------|----------------|
| ¿Cuál es el efecto de la Incorporación del caucho reciclado en las propiedades mecánicas, físicas y volumétricas en la mezcla asfáltica en caliente? | La Incorporación del caucho reciclado mejora las propiedades mecánicas, físicas y volumétricas en la mezcla asfáltica en caliente. | GENERAL: | VARIABLE INDEPENDIENTE Gránulos de caucho reciclado | Porcentaje de gránulos de caucho reciclado | % de gránulos de caucho reciclado: 0.5%, 1%, 2.5%, 3.5%, 4.5% y 5.5% | EXPLICATIVA | EXPERIMENTAL |
| | | Evaluar el efecto de la Incorporación del caucho reciclado en las propiedades mecánicas, físicas y volumétricas en la mezcla asfáltica en caliente. | | | | | |
| | | ESPECIFICOS: | VARIABLE DEPENDIENTE Propiedades mecánicas, físicas y volumétricas en la mezcla asfáltica en caliente | Estudio de Mecánica de Suelos | Ensayo de desgaste por abrasión | | |
| | | 1.Realizar el estudio de mecánica de suelos | | | Inalterabilidad de los agregados al sulfato de magnesio | | |
| | | | | | Equivalente de arena | | |
| | | 2. Realizar la mezcla asfáltica patrón en caliente y la mezcla asfáltica patrón incorporando gránulos de caucho reciclado utilizando el método Marshall | | | Contenido de sales solubles en agua | | |
| | | | | | Ensayo para determinación de partículas chatas y alargadas en agregados | | |
| | | | | | Análisis Granulométrico | | |
| | | | | | Contenido de humedad evaporable de los agregados | | |
| | | 3. Comparar y realizar el análisis estadístico del comportamiento de las propiedades mecánicas, físicas y volumétricas entre la mezcla asfáltica patrón y la mezcla asfáltica patrón incorporando gránulos de caucho reciclado. | | Método Marshall | Diseño de mezcla asfáltica patrón en caliente con PEN 60/70 al 4.50%, 5%, 5.50%,6% y 6.5% | | |
| | | | | | Determinar la estabilidad, flujo, densidad, porcentaje de vacíos total de la mezcla (VTM), porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) y porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica patrón en caliente con PEN 60/70 | | |
| | | | | Comparación y análisis estadísticos de resultados | Diseño de mezcla asfáltica patrón en caliente modificada con caucho | | |
| | | | | | Determinar la estabilidad, flujo, densidad, porcentaje de vacíos total de la mezcla (VTM), porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) y porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica patrón en caliente modificada con caucho | | |
| estabilidad, flujo, densidad, porcentaje de vacíos total de la mezcla (VTM), porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) y porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica patrón en caliente | | | | | | | |
| estabilidad, flujo, densidad, porcentaje de vacíos total de la mezcla (VTM), porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA) y porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica patrón en caliente modificada con caucho | | | | | | | |

Anexo 3. Ensayo de desgaste por abrasión (ASTM C131).



RUC: 20606092297

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS-CONCRETO-ASFALTO Y MATERIALES

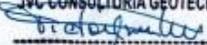
**ENSAYO DE DESGASTE POR ABRASIÓN
ASTM C 131**

PROYECTO : CAUCHO RECICLADO Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
SOLICITANTE : CASTILLO BURGOB, MARTIN - MARTINEZ ALVARADO, ARIANA DEL PILAR
UBICACIÓN : TRUJILLO - LA LIBERTAD
FECHA : MAYO DEL 2022

Material : Agregado grueso **Procedencia** : San Martín

| TAMIZ PASA - RETIENE | GRADACIÓN | | | |
|---------------------------|-----------|-----------|----------------|-----------|
| | "A" | "B" | "C" | "D" |
| 1 1/2" - 1" | 1250 ± 25 | - | - | - |
| 1" - 3/4" | 1250 ± 25 | - | - | - |
| 3/4" - 1/2" | 1250 ± 10 | 2500 ± 10 | - | - |
| 1/2" - 3/8" | 1250 ± 10 | 2500 ± 10 | - | - |
| 3/8" - 1/4" | - | - | 2500 ± 10 | 2,502.0 |
| 1/4" - Nº4 | - | - | 2500 ± 10 | 2,498.0 |
| Nº4 - Nº8 | - | - | - | 5000 ± 10 |
| ESFERAS | 12 | 11 | 8 | 8 |
| PESO DE LA MUESTRA | | | 5,000.0 | |
| Peso Retenido Tamiz Nº 12 | | | 4,124.4 | |
| Peso Pasante Tamiz Nº 12 | | | 875.6 | |
| % DESGASTE | | | 17.51 | |
| PROMEDIO | | | 17.5% | |

OBSERVACIONES:
* Muestras provistas e identificadas por el solicitante

JVC CONSULTORIA GEOTECNIA S.A.C.

Ing. Estefanía de los Angeles Agustín Díaz
GERENTE GENERAL


Carlos Javier Ramirez Muñoz
 Ingeniero Civil
 CIP 140574



JVC CONSULTORIA GEOTECNIA S.A.C.
 Jr. Los Diamantes 365 Dpto. 101 Urb. Santa Inés - Trujillo
 Telef.: 044 - 615690 - Cel.: 971492979 / 973994030
 consultoriageotecniajvc@gmail.com

Anexo 4. Inalterabilidad de los agregados al sulfato de sodio o magnesio (ASTM C88).



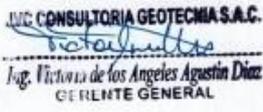
RUC: 20606092297

| LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS-CONCRETO-ASFALTO Y MATERIALES | | | | | | | |
|--|--|--|--|-------------|--------------------|--|--|
| INALTERABILIDAD DE LOS AGREGADOS AL SULFATO DE SODIO O MAGNESIO ASTM C 88 | | | | | | | |
| PROYECTO | CAUCHO RECIKLADO Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE | | | | | | |
| SOLICITANTE | CASTILLO BURGOS, MARTIN - MARTINEZ ALVARADO, ARIANA DEL PILAR | | | | | | |
| UBICACIÓN | TRUJILLO - LA LIBERTAD | | | | | | |
| FECHA | MAYO DEL 2022 | | | | | | |
| Material | Grava chancada T. Máx 3/4 - Arena chancada + zarandeada | | | Procedencia | Cantera San Martín | | |

| AGREGADO FINO | | | | | | | |
|-----------------|----------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------|--|--------------------------------------|------------------------------|
| TAMAÑO DE MALLA | | ESCALON ORIGINAL % | PESO ANTES DEL ENSAYO Grs. | PESO DESPUES DEL ENSAYO Grs. | PERDIDA DE PESO DESPUES DEL ENSAYO Grs. | % DE PERDIDA DESPUES DEL ENSAYO % | % DE PERDIDA CORREGIDAS % |
| PASANTE | RETENIDO | | | | | | |
| 3/8" | N° 4 | 3.2 | | | | | |
| N° 4 | N° 8 | 23.6 | 100.0 | 91.0 | 9.00 | 3.35 | 0.11 |
| N° 8 | N° 16 | 25.5 | 100.0 | 91.3 | 8.70 | 8.70 | 2.12 |
| N° 16 | N° 30 | 19.9 | 100.0 | 92.0 | 8.00 | 8.00 | 1.59 |
| N° 30 | N° 50 | 20.8 | 100.0 | 94.4 | 5.60 | 5.60 | 1.16 |
| N° 50 | N° 100 | 12.2 | 100.0 | 91.6 | 8.40 | 8.40 | 1.02 |
| < N° 100 | | 0.8 | | | | | |
| TOTALES | | | | | | | 8.23 |

| AGREGADO GRUESO | | | | | | | |
|-----------------|----------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------|--|--------------------------------------|------------------------------|
| TAMAÑO DE MALLA | | ESCALON ORIGINAL % | PESO ANTES DEL ENSAYO Grs. | PESO DESPUES DEL ENSAYO Grs. | PERDIDA DE PESO DESPUES DEL ENSAYO Grs. | % DE PERDIDA DESPUES DEL ENSAYO % | % DE PERDIDA CORREGIDAS % |
| PASANTE | RETENIDO | | | | | | |
| 2 1/2" | 1 1/2" | | | | | | |
| 1 1/2" | 3/4" | 31.1 | 675.0 | 442.8 | 32.20 | 4.77 | 1.48 |
| 3/4" | 3/8" | 36.8 | 300.0 | 271.4 | 28.60 | 9.53 | 3.51 |
| 3/8" | N° 4 | 32.1 | 300.0 | 270.6 | 29.40 | 9.80 | 3.15 |
| < N° 4 | | | | | | | |
| TOTALES | | | | | | | 8.14 |

OBSERVACIONES:
 * Muestras provistas e identificadas por el solicitante
 * Solución utilizada : Sulfato de Magnesio



JVC CONSULTORIA GEOTECNIA S.A.C.
Estadística
Ing. Victoria de los Angeles Agustin Diaz
 GERENTE GENERAL



Carlos Javier Ramirez Muñoz
 Ingeniero Civil
 CIP 140574



JVC CONSULTORIA GEOTECNIA S.A.C.
 Jr. Los Diamantes 365 Dpto. 101 Urb. Santa Inés - Trujillo
 Teléf.: 044 - 615690 - Cel.: 971492979 / 973994030
 consultoriageotecniajvc@gmail.com

Anexo 5. Equivalente de arena (ASTM D2419).

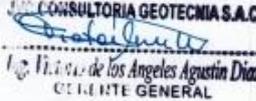


RUC: 20606092297

| LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS-CONCRETO-ASFALTO Y MATERIALES | | | | |
|---|--|-------------|--------------------|--|
| EQUIVALENTE DE ARENA ASTM D 2419 | | | | |
| PROYECTO | CAUCHO RECICLADO Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE | | | |
| SOLICITANTE | CASTILLO BURGOS, MARTIN - MARTINEZ ALVARADO, ARIANA DEL PILAR | | | |
| UBICACIÓN | TRUJILLO - LA LIBERTAD | | | |
| FECHA | MAYO DEL 2022 | | | |
| Material | Arena chancada + arena zarandeada | Procedencia | Canters San Martin | |

| ITEM | DESCRIPCIÓN | ENSAYOS | | |
|------|---|---------|-------|-------|
| | | | | |
| 1 | Tamaño Maximo (mm) | 4.76 | 4.76 | 4.76 |
| 2 | Muestra N° | 1 | 2 | 3 |
| 3 | Hora de Entrada | 10:25 | 10:33 | 10:42 |
| 4 | Hora de Salida | 10:35 | 10:43 | 10:52 |
| 5 | Hora de Entrada | 10:37 | 10:45 | 10:54 |
| 6 | Hora de Salida | 10:57 | 11:05 | 11:14 |
| 7 | Altura Maxima de la Arena (Pulgadas) | 3.75 | 3.70 | 3.80 |
| 8 | Altura Maxima de Material Fino (Pulgadas) | 5.61 | 5.88 | 5.33 |
| 9 | Equivalente de Arena (%) | 66.6 | 62.9 | 71.3 |
| 10 | Equivalente de Arena Promedio (%) | 67 | | |

OBSERVACIONES:
* Muestras provistas e identificadas por el solicitante



JVC CONSULTORIA GEOTECNIA S.A.C.
Ing. *Los Angeles Agustin Diaz*
GERENTE GENERAL



Carlos Javier Ramirez Muñoz
Ingeniero Civil
CIP 140574



JVC CONSULTORIA GEOTECNIA S.A.C.
Jr. Los Diamantes 365 Dpto. 101 Urb. Santa Inés - Trujillo
Teléf.: 044 - 615690 - Cel.: 971492979 / 973994030
consultoriageotecniajvc@gmail.com

Anexo 6. Contenido de sales solubles en agregados REF. MTC 219-2000.



RUC: 20606092297

| LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS-CONCRETO-ASFALTO Y MATERIALES | |
|---|--|
| CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN AGREGADOS | |
| REF. MTC 219 - 2000 | |
| PROYECTO : | CAUCHO RECICLADO Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE |
| SOLICITANTE : | CASTILLO BURGOS, MARTIN - MARTINEZ ALVARADO, ARIANA DEL PILAR |
| UBICACIÓN : | TRUJILLO - LA LIBERTAD |
| FECHA : | MAYO DEL 2022 |

Material : Agregados Fino / Grueso Procedencia : Canteras El Bauner / San Martín

| AGREGADO FINO | | | | | |
|---------------|----------------------------|-----|---------|--------|--------|
| ITEM | DESCRIPCIÓN | | ENSAYOS | | |
| | | | 01 | 02 | 03 |
| 1 | Recipiente | gr. | | | |
| 2 | Masa (Biker 250 ml.) | gr. | 104.28 | 103.54 | 103.60 |
| 3 | Masa + Sal + Biker 250 ml. | gr. | 104.27 | 103.55 | 103.60 |
| 4 | Masa Sal | gr. | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | Masa de Agregado | gr. | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 6 | Aforo de Agua Total | gr. | 500.0 | 500.0 | 500.0 |
| 7 | Volumen de Agua Utilizada | % | 50.0 | 50.0 | 50.0 |
| 8 | Sales Solubles | % | 0.040 | 0.030 | 0.050 |
| 9 | Promedio Sales Solubles | % | 0.04 | | |

| AGREGADO GRUESO | | | | | |
|-----------------|----------------------------|-----|---------|--------|--------|
| ITEM | DESCRIPCIÓN | | ENSAYOS | | |
| | | | 01 | 02 | 03 |
| 1 | Recipiente | gr. | | | |
| 2 | Masa (Biker 250 ml.) | gr. | 105.88 | 103.66 | 104.82 |
| 3 | Masa + Sal + Biker 250 ml. | gr. | 105.90 | 103.66 | 104.84 |
| 4 | Masa Sal | gr. | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| 5 | Masa de Agregado | gr. | 500.0 | 500.0 | 500.0 |
| 6 | Aforo de Agua Total | gr. | 500.0 | 500.0 | 500.0 |
| 7 | Volumen de Agua Utilizada | % | 50.0 | 50.0 | 50.0 |
| 8 | Sales Solubles | % | 0.050 | 0.026 | 0.030 |
| 9 | Promedio Sales Solubles | % | 0.04 | | |

OBSERVACIONES:

* Muestras provistas e identificadas por el solicitante

JVC CONSULTORIA GEOTECNIA S.A.C.
[Firma]
 Ing. Wilson de los Angeles Agustín Díaz
 GERENTE GENERAL

[Firma]
 Carlos Javier Ramirez Muñoz
 Ingeniero Civil
 CIP 140574



JVC CONSULTORIA GEOTECNIA S.A.C.
 Jr. Los Diamantes 365 Dpto. 101 Urb. Santa Inés - Trujillo
 Telef.: 044 - 615690 - Cel.: 971492979 / 973994030
 consultoriageotecniajvc@gmail.com

Anexo 8. Análisis granulométrico de agregados (MTC E204 – ASTM C136 – AASHTO T27).



JVC
CONSULTORIA GEOTECNIA

RUC: 20606092297

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS-CONCRETO-ASFALTO Y MATERIALES

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS
(MTC E204 - ASTM C136 -AASHTO T27)

PROYECTO : CAUCHO RECICLADO Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

SOLICITANTE : CASTILLO BURGOS, MARTÍN - MARTÍNEZ ALVARADO, ARIANA DEL PILAR

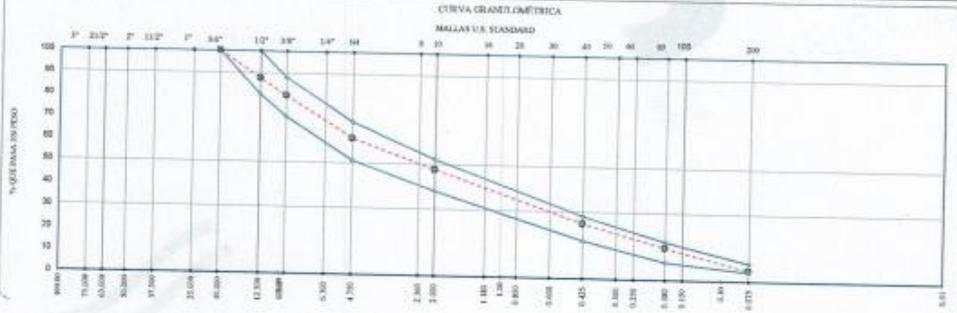
UBICACIÓN : TRUJILLO - LA LIBERTAD

FECHA : MAYO DEL 2022

COMBINACIÓN DE AGREGADOS

| Tamiz | Abertura (mm) | Piedra Chica | Arena Chica | Arena Zarandeada | Fines | Fines (%) | Especificaciones | | Observaciones |
|------------------------|---------------|--------------|-------------|------------------|-------|-----------|------------------|----------|---------------|
| | | | | | | | MAC 2 | MAC 1 | |
| % Combinaciones | | | | | | | | | |
| 3" | 75.000 | | | | | 100 | | | |
| 2 1/2" | 63.500 | | | | | | | | |
| 2" | 50.800 | | | | | | | | |
| 1 1/2" | 37.500 | | | | | | | | |
| 1" | 25.000 | | | | | | | | |
| 3/4" | 19.000 | 100.0 | | 100.0 | | 100.0 | 100.0 | 100 | |
| 1/2" | 12.500 | 67.3 | | 100.0 | | 100.0 | 67.3 | 60 - 100 | |
| 3/8" | 9.500 | 46.2 | | 100.0 | | 100.0 | 46.2 | 72 - 98 | |
| 1/4" | 4.750 | 1.8 | | 97.6 | | 100.0 | 66.8 | 51 - 88 | |
| Nº4 | 3.360 | | | 93.4 | | 100.0 | 66.8 | | |
| Nº10 | 1.900 | 0.8 | | 79.1 | | 100.0 | 47.5 | 38 - 52 | % Agregado |
| Nº20 | 0.850 | | | | | | | | % Grava 29.2 |
| Nº30 | 0.600 | | | | | | | | % Arena 36.1 |
| Nº40 | 0.425 | | | 98.7 | | 98.8 | 24.7 | 17 - 28 | % Fines 4.7 |
| Nº60 | 0.250 | | | | | | | | |
| Nº80 | 0.190 | | | 19.8 | | 105.1 | 14.4 | | Observaciones |
| Nº100 | 0.150 | | | | | | | | |
| Nº200 | 0.075 | | | 5.5 | | 103.8 | 4.7 | 4-8 | |
| PASA | | | | | | | | | |

CURVA GRANULOMÉTRICA
MALLAS U.S. STANDARD





JVC CONSULTORIA GEOTECNIA S.A.C.
Ing. V. de los Angeles Agustin Diaz
GERENTE GENERAL



Carlos Javier Ramirez Muñoz
Ingeniero Civil
CIP 140574



JVC
Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Materiales

JVC CONSULTORIA GEOTECNIA S.A.C.
Jr. Los Diamantes 365 Dpto. 101 Urb. Santa Inés - Trujillo
Teléf.: 044 – 615690 - Cel.: 971492979 / 973994030
consultoriageotecniajvc@gmail.com

Anexo 9. Contenido de humedad evaporable de los agregados (ASTM C566-19).



JVC
CONSULTORIA GEOTECNIA

RUC: 20606092297

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS-CONCRETO-ASFALTO Y MATERIALES

CONTENIDO DE HUMEDAD EVAPORABLE DE LOS AGREGADOS
ASTM C566-19

| | |
|--------------------|--|
| PROYECTO | CAUCHO RECICLADO Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE |
| SOLICITANTE | CASTILLO BURGOS, MARTIN - MARTÍNEZ ALVARADO, ARIANA DEL PILAR |
| UBICACIÓN | TRUJILLO - LA LIBERTAD |
| FECHA | MAYO DEL 2022 |

CANTERA : CANTERA SAN MARTIN

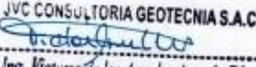
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO

| ITEM | DESCRIPCION | UND. | DATOS | DATOS |
|------|--------------------------------------|------|-------|-------|
| 1 | Masa del Recipiente | g | 105.3 | 104.8 |
| 2 | Masa del Recipiente + muestra húmeda | g | 739.2 | 811.1 |
| 3 | Masa del Recipiente + muestra seca | g | 727.9 | 798.5 |
| 4 | Contenido de Humedad | % | 1.81 | 1.82 |
| 4 | CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO | % | 1.82 | |

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

| ITEM | DESCRIPCION | UND. | DATOS | DATOS |
|------|--------------------------------------|------|-------|-------|
| 1 | Masa del Recipiente | g | 105.3 | 104.8 |
| 2 | Masa del Recipiente + muestra húmeda | g | 651.1 | 737.2 |
| 3 | Masa del Recipiente + muestra seca | g | 640.2 | 725.1 |
| 4 | Contenido de Humedad | % | 2.04 | 1.96 |
| 4 | CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO | % | 1.99 | |

OBSERVACIONES:
* Muestras provistos e identificadas por el solicitante



JVC CONSULTORIA GEOTECNIA S.A.C.
Ing. Victoria de los Angeles Agustín Díaz
GERENTE GENERAL



Carlos Javier Ramirez Muñoz
Ingeniero Civil
CIP 140574



JVC CONSULTORIA GEOTECNIA S.A.C.
Jr. Los Diamantes 365 Dpto. 101 Urb. Santa Inés - Trujillo
Teléf.: 044 - 615690 - Cel.: 971492979 / 973994030
consultoriageotecniajvc@gmail.com

Anexo 10. Método de prueba estándar para densidad relativa (Gravedad específica) y absorción de agregado grueso (ASTM C127-15)





JVC
CONSULTORIA GEOTECNIA

RUC: 20606092297

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS-CONCRETO-ASFALTO Y MATERIALES

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DENSIDAD RELATIVA
(GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO**
ASTM C127-15

| | |
|-------------|--|
| PROYECTO | CAUCHO RECICLADO Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE |
| SOLICITANTE | : CASTILLO BURGOS, MARTIN - MARTINEZ ALVARADO, ARIANA DEL PILAR |
| UBICACIÓN | : TRUJILLO - LA LIBERTAD |
| FECHA | : MAYO DEL 2022 |

CANTERA : CANTERA SAN MARTIN

| DATOS / N° DE PRUEBA | | | 1 | 2 |
|----------------------|---|--|--------|--------|
| A | Masa de la muestra seca en el horno (gr.) | | 1321.4 | 1275.5 |
| B | Masa de la muestra al aire SSD (gr.) | | 1327.8 | 1281.6 |
| C | Masa de la muestra sumergida (gr.) | | 835.6 | 805.4 |

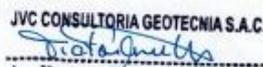
| RESULTADOS | 1 | 2 | PROMEDIO |
|--|-------|-------|--------------|
| Densidad Relativa (Gravedad específica OD) | 2.685 | 2.679 | 2.682 |
| Densidad Relativa (Gravedad específica SSD) | 2.696 | 2.692 | 2.695 |
| Densidad Relativa Aparente (Gravedad específica) | 2.721 | 2.713 | 2.717 |
| Absorción (%) | 0.5 | 0.5 | 0.48 |

MÉTODO DE PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Secado al horno

Desde su Humedad Natural

OBSERVACIONES:
* Muestras provistas e identificadas por el solicitante



JVC CONSULTORIA GEOTECNIA S.A.C.
Ing. Victoria de los Angeles Agustín Díaz
GERENTE GENERAL



Carlos Javier Ramirez Muñoz
Ingeniero Civil
CIP 140574



JVC CONSULTORIA GEOTECNIA S.A.C.
Jr. Los Diamantes 365 Dpto. 101 Urb. Santa Inés - Trujillo
Teléf.: 044 - 615690 - Cel.: 971492979 / 973994030
consultoriageotecniajvc@gmail.com

Anexo 11. Método de prueba estándar para densidad relativa (Gravedad específica) y absorción de agregado fino (ASTM C128-15)





JVC
CONSULTORIA GEOTECNIA

RUC: 20606092297

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS-CONCRETO-ASFALTO Y MATERIALES

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO
ASTM C128-15

PROYECTO CAUCHO RECICLADO Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

SOLICITANTE : CASTILLO BURGOS, MARTIN - MARTINEZ ALVARADO, ARIANA DEL PILAR

UBICACIÓN : TRUJILLO - LA LIBERTAD

FECHA : MAYO DEL 2022

CANTERA : CANTERA SAN MARTIN

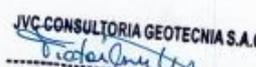
| ITEM | DATOS DE ENSAYO / N° DE PRUEBA | 1 | 2 | |
|------|--|-------|-------|-----------------|
| A | Masa secada al horno (OD) (gr.) | 296.6 | 296.6 | |
| B | Masa de picnómetro con agua hasta la marca (gr.) | 669.3 | 674.2 | |
| C | Masa de picnómetro con agua + muestra ssa (gr.) | 655.6 | 660.5 | |
| S | Masa saturada con superficie seca (SSS) (gr.) | 300.0 | 300.0 | PROMEDIO |
| | Densidad Relativa (Gravedad específica) (OD) | 2.61 | 2.61 | 2.608 |
| | Densidad Relativa (Gravedad específica) (SSD) | 2.64 | 2.64 | 2.639 |
| | Densidad Relativa aparente (Gravedad específica) | 2.69 | 2.69 | 2.689 |
| | % Absorción | 1.2 | 1.2 | 1.16 |

MÉTODO DE PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Secado al horno

Desde su Humedad Natural

OBSERVACIONES:
* Muestras provistas e identificadas por el solicitante



JVC CONSULTORIA GEOTECNIA S.A.C.
Ing. Victoria de los Angeles Agustin Diaz
GERENTE GENERAL



Carlos Javier Ramirez Muñoz
Ingeniero Civil
CIP 140574



JVC CONSULTORIA GEOTECNIA S.A.C.
Jr. Los Diamantes 365 Dpto. 101 Urb. Santa Inés - Trujillo
Teléf.: 044 – 615690 - Cel.: 971492979 / 973994030
consultoriageotecniajvc@gmail.com

Anexo 12. Diseño de mezcla asfáltica en caliente con PEN 60/70.



RUC: 20606092297

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS-CONCRETO-ASFALTO Y MATERIALES

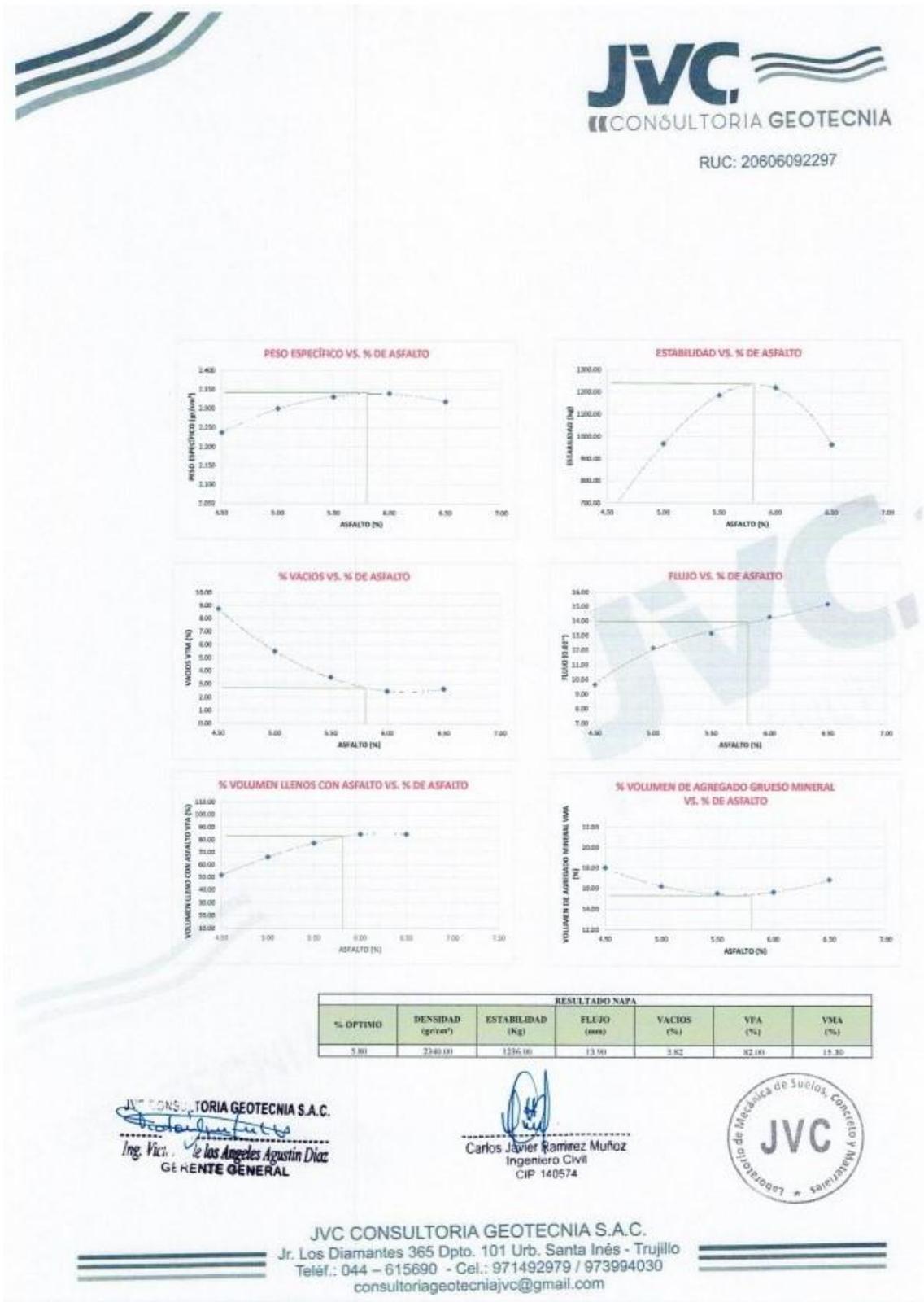
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA MARSHALL

| | |
|-------------|---|
| PROYECTO | CALUCHO RECICLADO Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE |
| SOLICITANTE | CASTILLO BURGOS, MARTÍN - MARTÍNEZ ALVARADO, ARIANA DEL PILAR |
| UBICACIÓN | TRUJILLO - LA LIBERTAD |
| FECHA | MAYO DEL 2022 |

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON PEN 60/70

| N° | N° de Especificación | Asfalto PEN 60/70 | | | | | T° Mezcla: 146 °C | | | | | T° Compactación: 138 °C | | | | | Gravedad específica: 1.021 | | | | | | | | | |
|-----|--|-------------------|--------|--------|---------|--------|-------------------|---------|---------|---------|---------|-------------------------|---------|---------|---------|---------|----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | A | B | C | D | E | A | B | C | D | E | A | B | C | D | E | A | B | C | D | E | | | | | |
| | % en peso de la mezcla (P _s) | 39% | 4.50 | | | 3.00 | | | | | 3.36 | | | | | 3.36 | | | | | 3.36 | | | | | 3.36 |
| | % asociado grueso | 41% | 56.3 | | | 36.1 | | | | | 36.1 | | | | | 36.1 | | | | | 36.1 | | | | | 36.1 |
| | % asociado fino | 1% | 0.96 | | | 0.95 | | | | | 0.95 | | | | | 0.95 | | | | | 0.95 | | | | | 0.95 |
| | % Filler en peso de la mezcla (P _f) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5) | Gravedad Específica Asfalto (G _a) Cemento Asfáltico | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 | 1.021 |
| 6) | Gravedad Específica Sosa Bala (G _{sb}) Agregado Grueso | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 | 2.695 |
| 7) | Gravedad Específica Sosa Bala (G _{sf}) Agregado Fino | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 | 2.639 |
| 8) | Gravedad Específica Sosa Bala (G _{sl}) Filler | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 |
| 9) | Gravedad Específica Sosa Asfalto (G _{sa}) Agregado Grueso | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 | 2.717 |
| 10) | Gravedad Específica Sosa Asfalto (G _{sa}) Agregado Fino | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 | 2.689 |
| 11) | Gravedad Específica Sosa Asfalto (G _{sa}) Filler | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 |
| 12) | Presión A = (G _a + G _{sb})/2 del agregado grueso | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 | 2.706 |
| 13) | Presión B = (G _a + G _{sf})/2 del agregado fino | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 | 2.664 |
| 14) | Presión C = (G _a + G _{sl})/2 del filler | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 |
| 15) | Alfano asociado del agregado grueso | 6.70 | 6.72 | 6.55 | 6.60 | 6.58 | 6.60 | 6.58 | 6.50 | 6.57 | 6.54 | 6.57 | 6.54 | 6.50 | 6.50 | 6.50 | 6.50 | 6.50 | 6.50 | 6.50 | 6.50 | 6.50 | 6.50 | 6.50 | 6.50 | 6.50 |
| 16) | Gravedad Específica Sosa Bala de la combinación de agregados | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 |
| 17) | Gravedad Específica Sosa Asfalto de la combinación de agregados | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 |
| 18) | Peso del asfalto en el aire, gr. W _a | 1218.3 | 1215.5 | 1217.8 | 1221.3 | 1219.4 | 1220.9 | 1223.8 | 1220.2 | 1223.7 | 1221.2 | 1223.7 | 1221.6 | 1219.6 | 1221.3 | 1221.3 | 1221.6 | 1220.9 | 1220.9 | 1220.9 | 1220.9 | 1220.9 | 1220.9 | 1220.9 | 1220.9 | 1220.9 |
| 19) | Peso del asfalto en su medio SSD en el aire, gr. W _{as} | 1218.9 | 1218.1 | 1220.0 | 1223.0 | 1221.3 | 1222.4 | 1228.5 | 1228.4 | 1232.4 | 1232.4 | 1232.4 | 1232.4 | 1232.4 | 1232.4 | 1232.4 | 1232.4 | 1232.4 | 1232.4 | 1232.4 | 1232.4 | 1232.4 | 1232.4 | 1232.4 | 1232.4 | 1232.4 |
| 20) | Peso del asfalto en su medio SSD en el agua, gr. W _{aw} | 674.4 | 675.6 | 675.2 | 667.0 | 667.0 | 667.3 | 667.3 | 667.3 | 667.3 | 667.3 | 667.3 | 667.3 | 667.3 | 667.3 | 667.3 | 667.3 | 667.3 | 667.3 | 667.3 | 667.3 | 667.3 | 667.3 | 667.3 | 667.3 | 667.3 |
| 21) | Volumen del asfalto | 544.50 | 542.52 | 542.20 | 530.70 | 534.30 | 539.33 | 535.60 | 535.60 | 535.60 | 535.60 | 535.60 | 535.60 | 535.60 | 535.60 | 535.60 | 535.60 | 535.60 | 535.60 | 535.60 | 535.60 | 535.60 | 535.60 | 535.60 | 535.60 | 535.60 |
| 22) | Volumen del agregado | 2.254 | 2.241 | 2.238 | 2.201 | 2.202 | 2.206 | 2.234 | 2.232 | 2.226 | 2.227 | 2.240 | 2.241 | 2.241 | 2.241 | 2.241 | 2.241 | 2.241 | 2.241 | 2.241 | 2.241 | 2.241 | 2.241 | 2.241 | 2.241 | |
| 23) | Gravedad específica seca bala del asfalto, G _{sb} | 2.651 | 2.651 | 2.651 | 2.651 | 2.651 | 2.651 | 2.651 | 2.651 | 2.651 | 2.651 | 2.651 | 2.651 | 2.651 | 2.651 | 2.651 | 2.651 | 2.651 | 2.651 | 2.651 | 2.651 | 2.651 | 2.651 | 2.651 | 2.651 | 2.651 |
| 24) | Presión de vacío del total de la mezcla, VTM | 8.88 | 8.58 | 8.71 | 8.43 | 8.82 | 8.52 | 8.37 | 8.49 | 8.78 | 8.56 | 8.44 | 8.44 | 8.44 | 8.44 | 8.44 | 8.44 | 8.44 | 8.44 | 8.44 | 8.44 | 8.44 | 8.44 | 8.44 | 8.44 | 8.44 |
| 25) | Gravedad de cada espécimen Marshall, γ = G _{sb} x V _{sb} | 2.254 | 2.241 | 2.238 | 2.201 | 2.202 | 2.206 | 2.234 | 2.232 | 2.226 | 2.227 | 2.240 | 2.241 | 2.241 | 2.241 | 2.241 | 2.241 | 2.241 | 2.241 | 2.241 | 2.241 | 2.241 | 2.241 | 2.241 | 2.241 | |
| 26) | % de vacío del agregado natural, VMA | 18.1 | 17.9 | 18.0 | 16.1 | 16.4 | 15.9 | 15.3 | 15.4 | 15.6 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 |
| 27) | % de vacío libre con asfalto, VFA | 51.1 | 51.8 | 51.4 | 46.3 | 44.0 | 43.7 | 39.3 | 37.4 | 38.3 | 38.3 | 38.3 | 38.3 | 38.3 | 38.3 | 38.3 | 38.3 | 38.3 | 38.3 | 38.3 | 38.3 | 38.3 | 38.3 | 38.3 | 38.3 | 38.3 |
| 28) | Gravedad específica aparente de la combinación de agregados, G _a | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 | 2.624 |
| 29) | Gravedad específica aparente de la combinación de agregados, G _a | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 | 2.643 |
| 30) | Gravedad específica bala de la combinación de agregados, G _{sb} | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 | 2.628 |
| 31) | G _a = G _{sb} x V _{sb} , compare con la verificación | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 32) | Gravedad específica aparente máxima, P _{max} | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 |
| 33) | Gravedad específica aparente máxima, P _{max} G _a | 2.451 | 2.451 | 2.451 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 | 2.433 |
| 34) | Si 22-33, compare con la verificación | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 35) | % de vacío del agregado natural, VMA | 18.1 | 17.9 | 18.0 | 16.1 | 16.4 | 15.9 | 15.3 | 15.4 | 15.6 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 |
| 36) | % de vacío del agregado natural, VMA | 18.1 | 17.9 | 18.0 | 16.1 | 16.4 | 15.9 | 15.3 | 15.4 | 15.6 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 |
| 37) | Si 35-36, compare la verificación | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 38) | Estabilidad sin compactar (kg) | 638.84 | 728.80 | 667.34 | 1058.66 | 979.80 | 979.80 | 1272.00 | 1272.00 | 1272.00 | 1272.00 | 1272.00 | 1272.00 | 1272.00 | 1272.00 | 1272.00 | 1272.00 | 1272.00 | 1272.00 | 1272.00 | 1272.00 | 1272.00 | 1272.00 | 1272.00 | 1272.00 | 1272.00 |
| 39) | Factor de Estabilidad | 0.93 | 0.93 | 0.93 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 |
| 40) | Estabilidad compactada | 584.68 | 675.92 | 644.77 | 1015.68 | 931.20 | 939.04 | 1220.16 | 1170.00 | 1102.64 | 1108.48 | 1108.48 | 1108.48 | 1108.48 | 1108.48 | 1108.48 | 1108.48 | 1108.48 | 1108.48 | 1108.48 | 1108.48 | 1108.48 | 1108.48 | 1108.48 | 1108.48 | 1108.48 |
| 41) | Estabilidad compactada promedio | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 |
| 42) | Flujo promedio (mm) | 9.44 | 9.38 | 9.39 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 |
| 43) | Flujo promedio (mm) | 9.44 | 9.38 | 9.39 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 | 12.41 |

Anexo 13. Diseño de mezcla asfáltica en caliente con PEN 60/70 en gráficos.



Anexo 14. Diseño de mezcla asfáltica en caliente con PEN 60/70 + CAUCHO.





RUC: 20606092297

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS-CONCRETO-ASFALTO Y MATERIALES

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA MARSHALL

PROYECTO : CAUJO RECICLADO Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

SOLICITANTE : CARTELLO BARRERA, MARTIN - MARTINEZ ALVARADO, ANAIA DEL PILAR

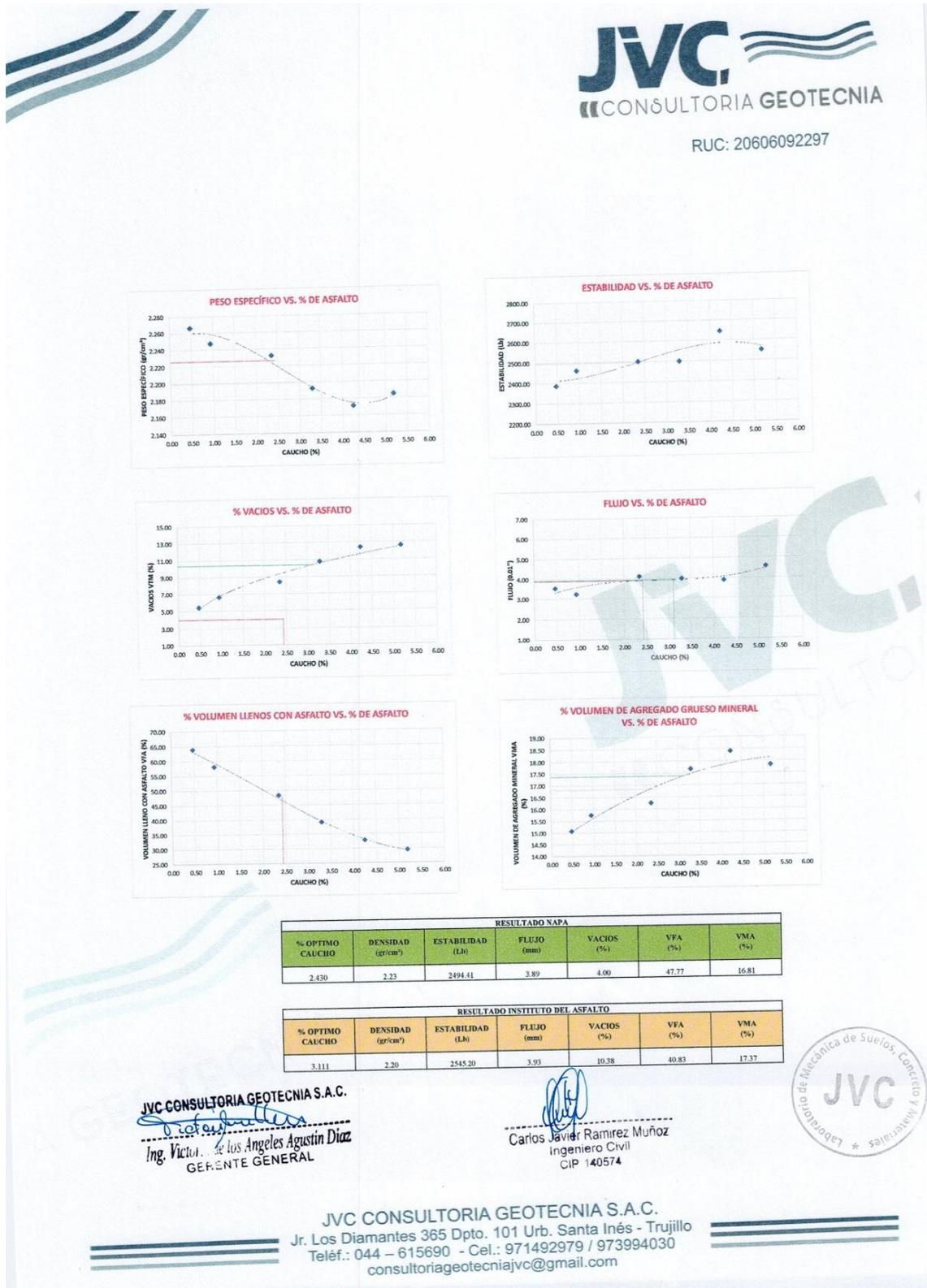
UBICACIÓN : TRUJILLO - LA LIBERTAD

FECHA : MAYO DEL 2022

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON PEN 60/70 + CAUCHO

| Nº | Nº de Especificaciones | Asfalto PEN 60/70 | | Tº Mezcla: 140 °C | | Tº Compactación: 118 °C | | Gravedad específica: 1.0136 | | Nº Golpes | | 18 | | | | | | | |
|------------------------|---|-------------------|---------|-------------------|--------|-------------------------|--------|-----------------------------|--------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | A | B | A | B | A | B | A | B | 16 | 17 | | | | | | | | |
| % aditivo en la mezcla | | 3.8% | 3.8% | 3.8% | 3.8% | 3.8% | 3.8% | 3.8% | 3.8% | 3.8% | 3.8% | 3.8% | | | | | | | |
| % agregado grueso | | 34.3 | 34.3 | 34.3 | 34.3 | 34.3 | 34.3 | 34.3 | 34.3 | 34.3 | 34.3 | 34.3 | | | | | | | |
| % agregado fino | | 67.5 | 67.5 | 67.5 | 67.5 | 67.5 | 67.5 | 67.5 | 67.5 | 67.5 | 67.5 | 67.5 | | | | | | | |
| % filler | | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | | | | | | | |
| Nº de especificaciones | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 1 | % del vacante reemplazamiento del agregado grueso | 0.37% | 0.47% | 0.57% | 0.67% | 0.77% | 0.87% | 0.97% | 1.07% | 1.17% | 1.27% | 1.37% | 1.47% | 1.57% | 1.67% | 1.77% | 1.87% | 1.97% | |
| 2 | % de plastico en la mezcla | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | |
| 3 | % de cemento Portland en peso de la mezcla (%) | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | 3.80 | |
| 4 | % Agregado grueso en peso de la mezcla (%) | 34.3 | 34.3 | 34.3 | 34.3 | 34.3 | 34.3 | 34.3 | 34.3 | 34.3 | 34.3 | 34.3 | 34.3 | 34.3 | 34.3 | 34.3 | 34.3 | 34.3 | |
| 5 | % Agregado fino en peso de la mezcla (%) | 67.5 | 67.5 | 67.5 | 67.5 | 67.5 | 67.5 | 67.5 | 67.5 | 67.5 | 67.5 | 67.5 | 67.5 | 67.5 | 67.5 | 67.5 | 67.5 | 67.5 | |
| 6 | % Filler en peso de la mezcla (%) | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | |
| 7 | Consistencia Especifica Aparente (%) | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | 1.014 | |
| 8 | Consistencia Especifica Sica (kPa) | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | |
| 9 | Consistencia Especifica Sica (kPa) Agregado Fino | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | 2.491 | |
| 10 | Consistencia Especifica Sica (kPa) Filler | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | |
| 11 | Consistencia Especifica Sica (kPa) Cemento | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | 2.774 | |
| 12 | Consistencia Especifica Sica (kPa) Agregado Fino | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | 2.736 | |
| 13 | Consistencia Especifica Sica (kPa) Filler | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | 0.860 | |
| 14 | Presencia A = (U ₁ - U ₂) / U ₁ del agregado grueso | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | 2.733 | |
| 15 | Presencia B = (U ₁ - U ₂) / U ₁ del agregado fino | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | 2.613 | |
| 16 | Presencia C = (U ₁ - U ₂) / U ₁ del filler | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | 0.800 | |
| 17 | Altera permeabilidad del asfalto (cm) | 6.18 | 6.40 | 6.59 | 6.75 | 6.93 | 7.10 | 7.26 | 7.43 | 7.60 | 7.76 | 7.93 | 8.10 | 8.26 | 8.43 | 8.59 | 8.76 | 8.93 | 9.10 |
| 18 | Consistencia Especifica Sica (kPa) de la combinación de agregados | 2.714 | 2.714 | 2.714 | 2.714 | 2.714 | 2.714 | 2.714 | 2.714 | 2.714 | 2.714 | 2.714 | 2.714 | 2.714 | 2.714 | 2.714 | 2.714 | 2.714 | |
| 19 | Consistencia Especifica Sica (kPa) de la combinación de agregados | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | 2.692 | |
| 20 | Pres del asfalto en el ens. de ... | 1123.7 | 1126.20 | 1128.7 | 1131.2 | 1133.7 | 1136.2 | 1138.7 | 1141.2 | 1143.7 | 1146.2 | 1148.7 | 1151.2 | 1153.7 | 1156.2 | 1158.7 | 1161.2 | 1163.7 | 1166.2 |
| 21 | Pres del asfalto en el ens. de ... | 1124.2 | 1126.7 | 1129.2 | 1131.7 | 1134.2 | 1136.7 | 1139.2 | 1141.7 | 1144.2 | 1146.7 | 1149.2 | 1151.7 | 1154.2 | 1156.7 | 1159.2 | 1161.7 | 1164.2 | 1166.7 |
| 22 | Pres del asfalto en el ens. de ... | 624.3 | 626.8 | 629.3 | 631.8 | 634.3 | 636.8 | 639.3 | 641.8 | 644.3 | 646.8 | 649.3 | 651.8 | 654.3 | 656.8 | 659.3 | 661.8 | 664.3 | 666.8 |
| 23 | Volúmenes del asfalto | 499.90 | 502.90 | 505.90 | 508.90 | 511.90 | 514.90 | 517.90 | 520.90 | 523.90 | 526.90 | 529.90 | 532.90 | 535.90 | 538.90 | 541.90 | 544.90 | 547.90 | 550.90 |
| 24 | Consistencia especifica sica (kPa) del agregado grueso | 2.208 | 2.205 | 2.202 | 2.243 | 2.252 | 2.267 | 2.276 | 2.291 | 2.300 | 2.315 | 2.324 | 2.339 | 2.348 | 2.363 | 2.372 | 2.387 | 2.396 | 2.411 |
| 25 | Consistencia especifica sica (kPa) del agregado fino | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 |
| 26 | Presencia de vacios del total de la mezcla, VTM | 5.30 | 5.30 | 5.43 | 5.60 | 5.77 | 5.94 | 6.11 | 6.28 | 6.45 | 6.62 | 6.79 | 6.96 | 7.13 | 7.30 | 7.47 | 7.64 | 7.81 | 7.98 |
| 27 | Consistencia de vacio especifica Marshall, v = G _m x B | 1.268 | 1.265 | 1.262 | 1.311 | 1.322 | 1.337 | 1.352 | 1.367 | 1.382 | 1.397 | 1.412 | 1.427 | 1.442 | 1.457 | 1.472 | 1.487 | 1.502 | 1.517 |
| 28 | % de vacio del agregado grueso, VMA | 15.0 | 15.1 | 15.3 | 15.5 | 15.6 | 15.8 | 16.0 | 16.2 | 16.4 | 16.6 | 16.8 | 17.0 | 17.2 | 17.4 | 17.6 | 17.8 | 18.0 | 18.2 |
| 29 | % de vacio del agregado fino, VFA | 64.5 | 63.7 | 62.9 | 62.1 | 61.3 | 60.5 | 59.7 | 58.9 | 58.1 | 57.3 | 56.5 | 55.7 | 54.9 | 54.1 | 53.3 | 52.5 | 51.7 | 50.9 |
| 30 | Consistencia especifica sica (kPa) | 2.636 | 2.636 | 2.636 | 2.636 | 2.636 | 2.636 | 2.636 | 2.636 | 2.636 | 2.636 | 2.636 | 2.636 | 2.636 | 2.636 | 2.636 | 2.636 | 2.636 | 2.636 |
| 31 | Consistencia especifica sica (kPa) de la combinación de agregados, G _m | 2.691 | 2.691 | 2.691 | 2.691 | 2.691 | 2.691 | 2.691 | 2.691 | 2.691 | 2.691 | 2.691 | 2.691 | 2.691 | 2.691 | 2.691 | 2.691 | 2.691 | 2.691 |
| 32 | Consistencia especifica sica (kPa) de la combinación de agregados, G _m | 2.544 | 2.544 | 2.544 | 2.544 | 2.544 | 2.544 | 2.544 | 2.544 | 2.544 | 2.544 | 2.544 | 2.544 | 2.544 | 2.544 | 2.544 | 2.544 | 2.544 | 2.544 |
| 33 | U ₁ = U ₂ / U ₁ del agregado grueso | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 |
| 34 | Consistencia especifica sica (kPa) del agregado grueso | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 |
| 35 | Consistencia especifica sica (kPa) del agregado fino | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 |
| 36 | Presencia de vacios del total de la mezcla, VTM | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 |
| 37 | % de vacio del agregado grueso, VMA | 15.0 | 15.1 | 15.3 | 15.5 | 15.6 | 15.8 | 16.0 | 16.2 | 16.4 | 16.6 | 16.8 | 17.0 | 17.2 | 17.4 | 17.6 | 17.8 | 18.0 | 18.2 |
| 38 | % de vacio del agregado fino, VFA | 64.5 | 63.7 | 62.9 | 62.1 | 61.3 | 60.5 | 59.7 | 58.9 | 58.1 | 57.3 | 56.5 | 55.7 | 54.9 | 54.1 | 53.3 | 52.5 | 51.7 | 50.9 |
| 39 | U ₁ = U ₂ / U ₁ del agregado grueso | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 |
| 40 | Consistencia especifica sica (kPa) del agregado grueso | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 |
| 41 | Consistencia especifica sica (kPa) del agregado fino | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 |
| 42 | Presencia de vacios del total de la mezcla, VTM | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 |
| 43 | % de vacio del agregado grueso, VMA | 15.0 | 15.1 | 15.3 | 15.5 | 15.6 | 15.8 | 16.0 | 16.2 | 16.4 | 16.6 | 16.8 | 17.0 | 17.2 | 17.4 | 17.6 | 17.8 | 18.0 | 18.2 |
| 44 | % de vacio del agregado fino, VFA | 64.5 | 63.7 | 62.9 | 62.1 | 61.3 | 60.5 | 59.7 | 58.9 | 58.1 | 57.3 | 56.5 | 55.7 | 54.9 | 54.1 | 53.3 | 52.5 | 51.7 | 50.9 |
| 45 | U ₁ = U ₂ / U ₁ del agregado grueso | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 |
| 46 | Consistencia especifica sica (kPa) del agregado grueso | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 |
| 47 | Consistencia especifica sica (kPa) del agregado fino | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 | 2.790 |
| 48 | Presencia de vacios del total de la mezcla, VTM | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 |
| 49 | % de vacio del agregado grueso, VMA | 15.0 | 15.1 | 15.3 | 15.5 | 15.6 | 15.8 | 16.0 | 16.2 | 16.4 | 16.6 | 16.8 | 17.0 | 17.2 | 17.4 | 17.6 | 17.8 | 18.0 | 18.2 |
| 50 | % de vacio del agregado fino, VFA | 64.5 | 63.7 | 62. | | | | | | | | | | | | | | | |

Anexo 15. Diseño de mezcla asfáltica en caliente con PEN 60/70 + CAUCHO en gráficos.



Anexo 16. Panel fotográfico.



Máquina de los ángeles para realización de ensayo por abrasión.



Esferas de acero para máquina de abrasión.



Recolección de material para ensayo.



Cuarteo de la muestra en agregado fino.



Cuarteo de la muestra en agregado grueso.



Pesado de la muestra.



Secado de la muestra a temperatura $110^{\circ} \pm 5$ por 24 horas.



Lavado de la muestra de agregado fino y grueso.



Agregado de materiales para la granulometría.



Agitación para el proceso de tamizaje para el ensayo granulométrico.



Agregado de material para peso unitario del agregado fino.



Pesado del agregado fino más molde.



Agregado de material para peso unitario del agregado grueso.



Pesado del agregado grueso más molde.



Proceso para determinar la gravedad especifica de los agregados finos.



Determinación de la gravedad especifica.



Proceso previo antes realizar la gravedad especifica de los agregados (tara).



Proceso para determinar la gravedad especifica de los agregados gruesos.



Secado superficial de la muestra.



Martillo Marshall y base para compactación.



Preparación de molde para proceder con el ensayo de Marshall.



Obtención del optimo contenido de asfalto siendo 6%.



Muestra de caucho.



Calentamiento y mezclado de la muestra patrón más agregado de caucho.



Verificación de temperatura a través de termómetro de precisión.

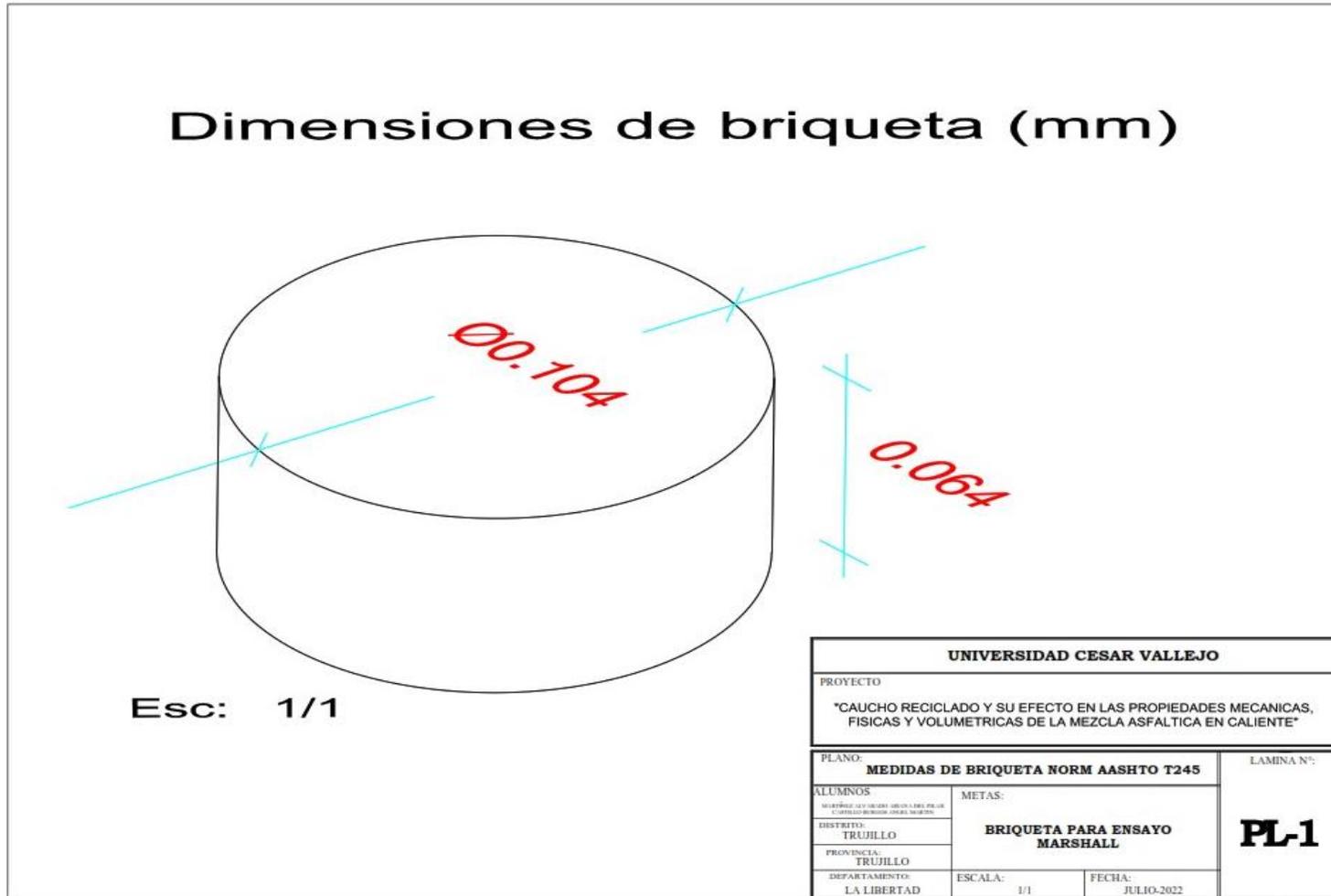


Realización de briquetas con adición de caucho.



Briquetas control junto a briquetas patrón más caucho.

Anexo 16. Planos



Plano de medida de briqueta en mm