



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Escoria de acero y su influencia en las propiedades físico mecánicas
de mezclas asfálticas en caliente.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

AUTORES:

Luis Reyna, Juan José (orcid.org/0000-0003-3354-0153)

Silva Terrones, Debora Alexandra (orcid.org/0000-0003-0607-6180)

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

En primer lugar, dar gracias a Dios por brindarme salud e iluminar mi camino, Dedico esta tesis a mi abuela quien en vida fue Gumerinda Mesa que guardó sus consejos y recuerdos. Que ayudó a superarme día a día y optar por mi educación, es la mejor herencia que pudo dejar en mí, a mi abuelo Santos Terrones que con sus palabras de sabiduría pudieron hacer que en mí nunca se acabe mi fe de poder seguir adelante y mis padres por el apoyo incondicional y constante que me brindaron para seguir motivándome para culminar la carrera profesional.

Silva Terrones, Debora Alexandra

A Dios por darme salud.

A mi madre por su apoyo incondicional en mi formación hasta culminar mi carrera.

A mi padre por sus consejos para seguir adelante y desde el cielo guía mi camino y me da fortaleza en cumplir mis metas.

A mis hermanos por su confianza y apoyo.

Luis Reyna, Juan José

Agradecimiento

A Dios, por darnos la vida, por ser nuestra luz en nuestro camino y habernos acompañado a lo largo de nuestra carrera, en donde nos dio la fortaleza para llegar, así a alcanzar nuestros objetivos.

A la Universidad César Vallejo, por habernos aceptado ser parte de ella y permitirnos terminar con éxito la carrera profesional de Ingeniería civil.

A nuestros asesores de tesis Dr. Farfán Córdova, Marlon Gastón por los aportes brindados y orientarnos en la elaboración de esta tesis, del mismo modo al Mg. Meza Rivas, Jorge Luis por su dedicación y conocimientos de su experiencia en el asesoramiento, que fueron de gran ayuda para la realización de este proyecto de investigación y gracias a nuestros familiares más cercanos por brindarnos su apoyo.

Luis Reyna, Juan José

Silva Terrones, Debora Alexandra

Índice de contenidos

| | |
|---|------|
| Dedicatoria | ii |
| Agradecimiento | iii |
| Índice de contenidos | iv |
| Índice de tablas | v |
| Índice de figuras | viii |
| Resumen | ix |
| Abstract | x |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. MARCO TEÓRICO | 5 |
| III. METODOLOGÍA..... | 16 |
| 3.1. Tipo y diseño de investigación | 16 |
| 3.2. Variables y operacionalización | 17 |
| 3.3. Población, muestra y muestreo | 17 |
| 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos..... | 18 |
| 3.5. Procedimientos | 19 |
| 3.6. Método de análisis de datos..... | 20 |
| 3.7. Aspectos éticos | 20 |
| IV. RESULTADOS | 21 |
| V. DISCUSIÓN..... | 72 |
| VI. CONCLUSIONES..... | 75 |
| VII. RECOMENDACIONES | 77 |
| REFERENCIAS..... | 78 |
| ANEXOS | 87 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. <i>Cantidad de especímenes para determinar el óptimo contenido de asfalto en la mezcla tipo B.</i> | 18 |
| Tabla 2. <i>Cantidad total de especímenes en referencia a la clase de mezcla.</i> | 18 |
| Tabla 3. <i>Análisis granulométrico del agregado grueso.</i> | 21 |
| Tabla 4. <i>Análisis de granulometría del agregado fino.</i> | 22 |
| Tabla 5. <i>Análisis de granulometría de la escoria de acero.</i> | 24 |
| Tabla 6. <i>Análisis granulométrico para los agregados grueso y fino.</i> | 25 |
| Tabla 7. <i>Peso específico del agregado grueso.</i> | 27 |
| Tabla 8. <i>Absorción del agregado grueso</i> | 28 |
| Tabla 9. <i>Peso específico del agregado fino.</i> | 30 |
| Tabla 10. <i>Absorción del agregado fino.</i> | 31 |
| Tabla 11. <i>Peso unitario suelto (P.U.S) promedio del agregado grueso.</i> | 32 |
| Tabla 12. <i>Peso unitario suelto (P.U.S) promedio del agregado fino.</i> | 32 |
| Tabla 13. <i>Peso unitario compactado (P.U.C) promedio del agregado grueso.</i> | 33 |
| Tabla 14. <i>Peso unitario compactado (P.U.C) promedio del agregado fino.</i> | 33 |
| Tabla 15. <i>Porcentaje de humedad del agregado grueso.</i> | 33 |
| Tabla 16. <i>Porcentaje de humedad del agregado fino.</i> | 34 |
| Tabla 17. <i>Arena equivalente.</i> | 34 |
| Tabla 18. <i>Porcentaje con una cara fracturada.</i> | 35 |
| Tabla 19. <i>Porcentaje con dos caras fracturadas.</i> | 35 |
| Tabla 20. <i>Resultado de partículas achatadas y largas.</i> | 35 |
| Tabla 21. <i>Resultado de adherencia en bandeja.</i> | 36 |
| Tabla 22. <i>Durabilidad del agregado grueso por medio de sulfato.</i> | 36 |
| Tabla 23. <i>Durabilidad del agregado fino por medio de sulfato.</i> | 37 |
| Tabla 24. <i>Resumen de resultados de la caracterización del agregado grueso.</i> | 38 |
| Tabla 25. <i>Resumen de resultados de la caracterización del agregado fino.</i> | 38 |
| Tabla 26. <i>Proporciones de agregados y asfalto.</i> | 39 |
| Tabla 27. <i>Proporciones de materiales.</i> | 40 |
| Tabla 28. <i>Selección del tipo de cemento asfáltico.</i> | 40 |
| Tabla 29. <i>Especificaciones para mezcla de concreto bituminoso.</i> | 41 |
| Tabla 30. <i>Porcentaje de vacíos mínimos en el agregado mineral.</i> | 41 |

| | |
|--|----|
| Tabla 31. <i>Altura de las briquetas para el diseño convencional.</i> | 43 |
| Tabla 32. <i>Gravedad promedio específica de bulk de la mezcla compactada.</i> | 43 |
| Tabla 33. <i>Resumen de resultados de diseño patrón Marshall con 5% de cemento asfáltico.</i> | 44 |
| Tabla 34. <i>Resumen de resultados de diseño patrón Marshall con 5.5% de cemento asfáltico.</i> | 45 |
| Tabla 35. <i>Resumen de resultados de diseño patrón Marshall con 6% de cemento asfáltico.</i> | 46 |
| Tabla 36. <i>Resumen de resultados de diseño patrón Marshall con 6.5% de cemento asfáltico.</i> | 47 |
| Tabla 37. <i>Resumen de resultados de diseño patrón Marshall con 7% de cemento asfáltico.</i> | 48 |
| Tabla 38. <i>Resumen de resultados de diseño patrón Marshall con 7.5% de cemento asfáltico.</i> | 49 |
| Tabla 39. <i>Resumen de resultados de diseño patrón Marshall con 8% de cemento asfáltico.</i> | 50 |
| Tabla 40. <i>Resultados del ensayo Marshall de la mezcla convencional</i> | 54 |
| Tabla 41. <i>Resultados de la mezcla modificada con 15% de escoria de acero</i> | 55 |
| Tabla 42. <i>Resultados de la mezcla modificada con 25% de escoria de acero</i> | 56 |
| Tabla 43. <i>Resultados de la mezcla modificada con 50% de escoria de acero</i> | 57 |
| Tabla 44. <i>Resultados de la mezcla modificada con 75% de escoria de acero</i> | 58 |
| Tabla 45. <i>Resultados del ensayo Marshall mezcla modificada.</i> | 62 |
| Tabla 46. <i>Resultados de las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla convencional y modificada</i> | 62 |
| Tabla 47. <i>Estadística para el grupo control y experimentales.</i> | 66 |
| Tabla 48. <i>Pruebas de normalidad.</i> | 66 |
| Tabla 49. <i>Análisis de varianza ANOVA.</i> | 66 |
| Tabla 50. <i>Prueba de comparación múltiple Tukey.</i> | 67 |
| Tabla 51. <i>Estadística grupos control y experimentales.</i> | 67 |
| Tabla 52. <i>Pruebas de normalidad.</i> | 67 |
| Tabla 53. <i>Análisis de varianza ANOVA.</i> | 68 |
| Tabla 54. <i>Prueba de comparación múltiple Tukey.</i> | 68 |
| Tabla 55. <i>Estadística de densidad para el grupo control y experimentales.</i> | 68 |

| | |
|---|----|
| Tabla 56. <i>Pruebas de normalidad.</i> | 69 |
| Tabla 57. <i>Comparación de grupos analizados con estadística de prueba de Kruskal-Wallis.</i> | 69 |
| Tabla 58. <i>Comparación del grupo control con los cuatro grupos experimentales mediante la U de Mann-Whitney.</i> | 69 |
| Tabla 59. <i>Estadística de densidad para el grupo control y experimentales.</i> | 70 |
| Tabla 60. <i>Pruebas de normalidad.</i> | 70 |
| Tabla 61. <i>Comparación de grupos analizados con estadística de prueba de Kruskal-Wallis.</i> | 70 |
| Tabla 62. <i>Comparación del grupo control con los cuatro grupos experimentales mediante la U de Mann-Whitney.</i> | 71 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Curva granulométrica del Ag. Grueso. | 22 |
| Figura 2. Curva granulométrica del Ag. Fino. | 23 |
| Figura 3. Curva granulométrica de la escoria de acero. | 24 |
| Figura 4. Especificaciones para la gradación de la mezcla. | 25 |
| Figura 5. Curva granulométrica de la combinación de agregados pétreos. | 25 |
| Figura 6. Especificaciones para los agregados gruesos según el MTC. | 26 |
| Figura 7. Especificaciones para el agregado fino según el MTC. | 29 |
| Figura 8. Porcentaje de asfalto vs. Porcentaje de vacíos en la mezcla. | 51 |
| Figura 9. Densidad vs. Porcentaje de asfalto. | 51 |
| Figura 10. Porcentaje de asfalto vs. Estabilidad. | 52 |
| Figura 11. Porcentaje de asfalto vs. Flujo. | 53 |
| Figura 12. Porcentaje de asfalto vs. Vacíos en el agregado mineral. | 53 |
| Figura 13. Porcentaje de escoria vs. Porcentaje de vacíos en la mezcla. | 59 |
| Figura 14. Porcentaje de escoria vs. Densidad. | 59 |
| Figura 15. Porcentaje de escoria vs. Estabilidad. | 60 |
| Figura 16. Porcentaje de escoria vs. Flujo. | 61 |
| Figura 17. Porcentaje de escoria vs. Vacíos en el agregado mineral. | 61 |
| Figura 18. Estabilidad vs. Tipo de mezcla. | 63 |
| Figura 19. Flujo vs. Tipo de mezcla. | 63 |
| Figura 20. Porcentaje de vacíos vs. Tipo de mezcla. | 64 |
| Figura 21. Densidad vs. Tipo de mezcla. | 65 |
| Figura 22. Vacíos en el agregado mineral vs. Tipo de mezcla. | 65 |

Resumen

En la presente tesis se consideró determinar la influencia de la adición de escoria de acero en las propiedades físico mecánicas de mezclas asfálticas en caliente, para dar una solución a las fallas producidas en la carpeta asfáltica en pavimentos flexibles y a su vez sea más duraderos. Una vez caracterizado los agregados pétreos y la escoria de acero, se realizó un diseño teórico de óptimo contenido de asfalto el cual resultó 6.5% a dicho porcentaje se incrementó y disminuyó tres porcentajes de 0.5%, se realizó el diseño de mezclas asfálticas con porcentajes de 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7%, 7.5% y 8% de asfalto PEN 60/70, para lo cual se realizaron 28 briquetas con mezcla asfáltica convencional, asimismo se ensayaron mediante la prensa Marshall donde se determinó un óptimo de asfalto de 5.8%, vacíos en la mezcla de 4%, una densidad de 2.287gr/cm^3 , un flujo de 7.1 mm y una estabilidad de 6.8 KN. Este porcentaje óptimo de asfalto se utilizó en el diseño de mezcla asfáltica modificada con 15%, 25%, 50% y 75% de escoria de acero en reemplazo del agregado grueso, se realizaron 16 briquetas para determinar sus propiedades físico mecánicas, donde se obtuvo vacíos en la mezcla de 4%, densidad de 2.278 gr/cm^3 , un flujo de 12.8 mm y una estabilidad corregida de 9.0 KN, comparándolo con la norma de especificaciones técnicas generales del MTC EG-2013 supera significativamente a la estabilidad mínima (5.44 KN) para un tránsito mediano. Se concluye que la sustitución parcial de escoria de acero trae mayor beneficio a la mezcla asfáltica mejorando notablemente la estabilidad de manera que disminuye las fallas producidas por el tránsito vehicular.

PALABRAS CLAVE: Escoria de acero, mejoramiento de mezclas y ensayo Marshall.

Abstract

In this thesis, the influence of the addition of steel slag on the physical-mechanical properties of hot asphalt mixtures was considered in order to provide a solution to the failures produced in the asphalt layer in flexible pavements and at the same time to make them more durable. Once the stone aggregates and steel slag were characterized, a theoretical design of optimum asphalt content was carried out, which resulted in 6.5%, this percentage was increased and decreased by three percentages of 0.5%, the design of asphalt mixtures with percentages of 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 6.5%, 7%, 7.5% and 8% of PEN 60/70 asphalt, for which 28 briquettes were made with conventional asphalt mixes, which were also tested using the Marshall press where an optimum asphalt percentage of 5.8%, voids in the mix of 4%, a density of 2.287 g/cm³, a flow of 7.1 mm and a stability of 6.8 KN were determined. This optimum percentage of asphalt was used in the design of a modified asphalt mix with 15%, 25%, 50% and 75% of steel slag to replace the coarse aggregate, 16 briquettes were made to determine its physical-mechanical properties, where voids in the mix of 4%, density of 2.278 gr/cm³, a flow of 12.8 mm and a corrected stability of 9.0 KN were obtained, comparing it with the general technical specifications standard of the MTC EG-2013 significantly exceeds the minimum stability (5.44 KN) for a medium traffic. It is concluded that the partial substitution of steel slag brings greater benefit to the asphalt mix, improving notably the stability in a way that reduces the failures produced by vehicular traffic.

KEYWORDS: Steel slag, mix improvement and Marshall test.

I. INTRODUCCIÓN

En el continente asiático, Vietnam se ha desarrollado rápidamente en la industria pesada. La escoria de acero es considerada un subproducto de la industria siderúrgica, era estimado igual que residuo sólido nocivo, y debería ser procesado y dispersado en vertederos, según su legislación. Recientes estudios demostraron que se puede reutilizar como agregado sustituto del agregado mineral, en la mezcla asfáltica en caliente, (Hien, Dai & le, 2018). No obstante, la reutilización de escoria de acero en China es del 20%, lo que genera un problema ambiental (Bing et al., 2019). La utilización de la escoria sigue siendo baja, de igual manera las fábricas de cemento utilizan la escoria de acero como materia prima para la producción de cemento (Chen, Huo & Yang, 2019).

Principalmente la utilización de subproductos industriales como la escoria siderúrgica se emplea en las edificaciones de carreteras, de tal manera que su uso como material alternativo fomenta la construcción de carreteras sin afectar su calidad y rendimiento de la misma, (Ali et al., 2019). El uso de escoria de acero para la construcción de pavimentos no solo puede reducir la explotación de la piedra natural, sino que también resolver una serie de problemas causados por el vertido de estas como la contaminación, dando así una gran resistencia a la abrasión y buena angulosidad, esto tiende a tener una buena adherencia con el asfalto (Bai et al., 2018).

De acuerdo al porcentaje óptimo de asfalto en la mezcla asfáltica en caliente, debe ser apropiado en la estabilidad y flujo, estas propiedades dependen en el desempeño, en gran medida y durabilidad del asfalto (Quipusco y Villegas, 2019). Las industrias nacionales que contribuyen a la fabricación de acero, no cuentan con un programa o régimen de recolección de residuos industriales, en este caso a falta de suprimir los residuos son dispuestos en vertederos, simbolizando un peligro al medio ambiente (Gálvez y Valladolid, 2015). Por lo cual requiere mayor costo en reparación y mantenimiento de la vía, plantearon mejorar la mezcla asfáltica con un modificador como lo es el caucho sintético (Bravo y Montalvo, 2019).

Arequipa, es uno de los departamentos del Perú más importante actualmente, porque la empresa Aceros Arequipa viene produciendo anualmente 1.35 millones de toneladas de acero, teniendo como subproducto escoria siderúrgica cuyas características físicas son apropiadas para la construcción de vías y carreteras. Donde la MTC, incluye la escoria de acero en la lista de materiales apropiados para la construcción (Aceros Arequipa, 2021).

Hoy en día la producción a nivel mundial de acero bruto alcanzó 1.950,5 millones de toneladas lo que generó entre el 10% y 15% de escoria de acero, de acuerdo con datos de la Asociación Mundial del Acero (Worldsteel, 2021). En la actualidad China produce 1.064,8 millones de toneladas de acero siendo el mayor productor de mundo, como subproducto generó, escoria de acero 80 millones de toneladas, solo reutilizan el 30% del total de escorias de acero, Europa generó un total de 15.7 millones de toneladas de escoria de acero, solo reutilizaron 11.5 millones de toneladas quedando gran cantidad en los vertederos como desecho (Gencel, Karadag, Oren & Bilir, 2021).

Los materiales que provienen de roca es utilizado a menudo sin muchas transformaciones, obteniéndose en gravilla o arena, representando así un porcentaje del 90% y 75% de masa y volumen respectivamente de la mezcla asfáltica. Lo cual significa que en el proceso de construcción, reparación y mantenimiento de carreteras se consumirá una gran cantidad de este material, que son principalmente áridos. Por esta razón, se está tomando cada vez más interés a la sustitución de agregados pétreos por agregado siderúrgico, teniendo un principal uso en proyectos de infraestructura vial y de la construcción, con resultados viables y prometedores (Rondón, Muniz y Reyes, 2018).

Las escorias de acero (SS) tiene como componentes MgO, Fe, MnO y CaO dichos componentes generan resistencia a la abrasión, alta dureza y absorción, también genera una mayor adherencia entre el árido artificial y el asfalto ayudando a reducir fenómenos como el stripping, la mezcla asfáltica (MAC) elaborado con SS generan un incremento de resistencia al deslizamiento asimismo las escorias con alto contenido de MgO y CaO, tiende a expandirse en

contacto con el agua y ambientes húmedos siendo una de las principales limitaciones de las escorias de acero en la fabricación de las MAC, este problema se puede evitar dejando a las SS en la intemperie durante un año para luego ser utilizado como agregado natural (Rondón, Muniz y Reyes, 2018).

En el Perú las principales plantas siderúrgicas de fundición de hierro y acero son: siderúrgica del Perú (Siderperu), Corporación Aceros Arequipa y Doe Run Perú en la producción del acero obtienen como subproducto escoria de acero la cual ya no reutilizan y va a parar en escombreras generando toneladas de desechos, lo cual produce un problema ambiental, el cual se viene desperdiciando y puede ser reutilizado, como sustituto del agregado grueso en la fabricación de mezcla asfáltica en caliente disminuyendo el uso de agregados naturales, así contribuir a la disminución de uso de maquinaria en las canteras en el proceso de extracción de los agregados pétreos sobre todo contribuir al desarrollo de mezclas asfálticas modificadas con mejores propiedades mecánicas (Méndez et al., 2015).

Con la finalidad de conseguir mezclas más resistentes y mejorar sus propiedades físico mecánicas utilizando un producto secundario de la industria siderúrgica proponemos como problema de investigación: ¿En qué medida la adición de escoria de acero influye en las propiedades físico mecánicas de mezclas asfálticas en caliente?

Se justifica teóricamente, dado que esta investigación permitirá conocer una alternativa para un subproducto de la industria siderúrgica como lo es la escoria de acero en la fabricación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) con la finalidad de aportar al conocimiento para la mejora en las propiedades físico mecánicas de la (MAC) mediante la sustitución del árido natural por escoria de acero (SS), dando a conocer una alternativa de uso de este árido artificial, asimismo se justifica metodológicamente, ya que se siguió la siguiente secuencia comprar el cemento asfáltico, agregado pétreo (grueso y fino), escoria siderúrgica, luego caracterizar los agregados pétreos y artificial, asimismo se determinó el óptimo contenido de asfalto en la mezcla por el método Marshall,

de igual manera con el óptimo contenido de asfalto se realizó el diseño de mezclas utilizando diferentes porcentajes de escoria siderúrgica en reemplazo del agregado grueso para luego ensayar con el método Marshall en estabilidad y flujo haciendo una comparación entre la mezcla asfáltica convencional y la mezcla asfáltica modificada. En lo social, esta investigación permitirá un pavimento más duradero y resistente a las cargas del tráfico, aumentando su vida útil, reduciendo sus costos del mantenimiento periódico y beneficiando a las personas que llegarán más rápido a su destino. En el ámbito práctico, se busca tener un pavimento resistente que ayude a mejorar la transitabilidad vehicular para así fomentar el turismo, comercializar bienes y materias primas de nuestra región.

Para dar una respuesta a la formulación del problema, se planteó como objetivo general: Determinar la influencia de la adición de escoria de acero en las propiedades físico mecánicas de mezclas asfálticas en caliente. Asimismo, como objetivos específicos: determinar las características físicas de los agregados convencionales y el agregado siderúrgico, determinar las proporciones de los materiales a través del diseño de mezcla, determinar el porcentaje óptimo de cemento asfáltico para el diseño de las mezclas asfálticas en caliente, determinar las propiedades físico mecánicas de la mezcla asfáltica incorporando escoria de acero 15%, 25%, 50% y 75% respecto al agregado grueso, comparar las propiedades físico mecánicas de la mezcla convencional y la modificada con escoria de acero en los diferentes porcentajes de adición de escoria de acero. Ante tal situación se planteó como hipótesis la adición de escoria de acero influirá en el mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de mezclas asfálticas en caliente.

II. MARCO TEÓRICO

Como antecedentes internacionales consideramos a Hernández et al. (2021), en su artículo “Efecto en la aplicación de polvos de escoria metalúrgica en las propiedades físicas y reológicas del asfalto”, establecieron como objetivo determinar el efecto del polvo de escoria EAFS sobre las propiedades reológicas del asfalto. Aplicaron una metodología experimental, los asfaltos modificados se elaboraron en el laboratorio mediante la incorporación de tres contenidos de polvo de escoria 3%, 6% y 10% con relación al peso de la briqueta de asfalto, para la fabricación de la mezcla utilizaron un asfalto puro de PG 64 a altas temperaturas de acuerdo a la norma ASTM D-6373. Obtuvieron los resultados con la adición de polvo de escoria conduce a una mejora de la consistencia del asfalto, disminuyendo el índice de penetración hasta el 12% y aumentando el punto de ablandamiento hasta un 7%. Finalmente establecieron como conclusión que la adición de las escorias mejoró las propiedades de envejecimiento del asfalto a corto plazo asimismo los asfaltos modificados con escoria proporcionaron propiedades de rendimiento mejores en comparación con el asfalto puro.

Shiha, Badawy & Gabr (2020), quienes en su artículo titulado “Modelización y evaluación del rendimiento de mezclas asfálticas y bases de áridos que contienen escoria de acero”, fijaron como objetivo determinar la factibilidad de utilizar escoria de acero de horno eléctrico (EAFS) como sustituto del agregado (piedra caliza) en la mezcla asfáltica en caliente para mejorar sus propiedades mecánicas. Caracterizaron el agregado calizo y fino, luego determinaron el óptimo contenido de asfalto, fabricaron dos mezclas con 60 y 80% de EAFS en reemplazo del agregado calizo, con 0% de EAFS es la prueba control. A cada briqueta realizaron ensayos como estabilidad de Marshall y la resistencia de tracción indirecta (IDT), elaboraron 15 briquetas en total con dimensiones de 120 mm de diámetro por 170 mm de alto. Obtuvieron como resultados con un 60% de agregado artificial (EAFS) en la mezcla asfáltica mejoraba la estabilidad Marshall y la IDT. Concluyeron que la escoria de acero de horno eléctrico incrementó la estabilidad y la resistencia a la tracción indirecta en la mezcla modificada en comparación con la mezcla convencional, lo que conduce a una

mejor resistencia a las grietas por fatiga y aumenta el tiempo de vida útil del pavimento.

En el artículo de Rondón, Muniz y Reyes (2018), denominado “Uso de escorias de alto horno y acero en mezclas asfálticas”, establecieron como objetivo evaluar las propiedades de la escoria para producir mezclas asfálticas. Tuvieron una metodología experimental adicionando 25%, 50%, 75% y 100% de escoria de acero (SS) como reemplazo del árido grueso en la mezcla asfáltica en caliente, utilizaron un asfalto tipo AC-5 y AC-10. Obtuvieron como resultados que el 25% de escoria mejora las propiedades en la mezcla asfáltica, con el 100% de escoria no presenta modificación en sus propiedades como la resistencia a fatiga y deformación permanente. Finalmente fijaron como conclusión que la escoria de acero (SS) cumplió con los requisitos de calidad mínimos establecido por la normativa colombiana, asimismo la SS como sustituto del agregado pétreo aumenta la relación estabilidad/flujo, estabilidad Marshall y disminuye el flujo en la mezcla asfáltica.

Zumrawi & Khalill (2017), en su artículo “Estudio experimental de escoria de acero utilizada como agregado en mezcla asfáltica”, establecieron como objetivo evaluar si la escoria cumple con las características físicas para fabricar la mezcla asfáltica. Realizaron la caracterización de la grava y de la escoria de acero, también realizaron pruebas al cemento asfáltico como penetración, viscosidad, punto de reblandecimiento y gravedad específica, para el diseño de mezclas utilizaron porcentajes de asfalto 4%, 4.5%, 5%, 5.5% y 6% donde prepararon briquetas, lo cual sería la mezcla patrón para compararlo con la mezcla modificada con 50%, 75%, y 100% de escoria de acero en reemplazo del agregado grueso las briquetas se prepararon y ensayaron de acuerdo con la norma ASTM D1559. Obtuvieron resultados con un 75% de escoria de acero es la proporción más favorable aumentando la estabilidad Marshall y disminuyendo el flujo asimismo el valor óptimo de asfalto fue de 6.1%. Finalmente concluyeron que la escoria de acero debe considerarse un subproducto aprovechable para la fabricación de la mezcla asfáltica, por otro lado, la escoria de acero satisface las especificaciones Marshall para el diseño de las MAC.

Quanta et al. (2017), en su artículo “Investigación sobre las propiedades mecánicas, térmicas, de calentamiento por inducción y curativas de la mezcla asfáltica compuesta de escoria de acero y fibras de acero”, establecieron determinar el efecto de la incorporación de fibras de acero y residuos de acero en la estabilidad de la mezcla bituminosa. Realizaron la granulometría de los agregados y posteriormente el diseño de mezclas, reemplazando el agregado grueso por escoria siderúrgica de tamaños 9.5mm a 13.2mm fabricaron cuatro mezclas asfálticas y se ensayaron de acuerdo al estándar chino. Obtuvieron como resultado el óptimo contenido de asfalto fue 4.8% según el diseño de mezclas Marshall así mismo la utilización de escoria de acero y fibra de acero mejoró la estabilidad Marshall en un 11.1% y 18.4% respectivamente en relación a la mezcla convencional. Concluyeron que las fibras de acero y la escoria de acero contribuyen significativamente a lograr mejorar la estabilidad en la mezcla asfáltica experimental.

En el ámbito nacional Calva (2020), en su tesis titulada “Estabilidad y Flujo de mezclas asfálticas en caliente incorporando escoria de acero” planteó como objetivo determinar la estabilidad y flujo de la mezcla bituminosa, adicionando escoria de acero. Realizaron 180 briquetas de las cuales 36 son para el modelo patrón y las restantes para el diseño experimental en tres tipos de mezcla A, B y C las cuales se ensayaron por el método Marshall en estabilidad y flujo. Obtuvieron los resultados con 15% de escoria de acero cumple con las especificaciones para tránsito liviano y mediano, de otro modo con 25%, 50% y 75% de escoria de acero cumple para el tránsito liviano. Estableció como conclusión, el óptimo porcentaje de adición de escoria en los tres diseños de mezcla fue un máximo de 25% con lo cual satisface la gradación de las MAC-2.

Contreras y Zúñiga (2020), en su tesis titulada “Influencia de los desperdicios plásticos en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas”, establecieron evaluar el comportamiento de los residuos de plástico en las propiedades de la mezcla asfáltica modificando la estabilidad, flujo y relación de vacíos. Caracterizaron los agregados pétreos y el caucho reciclado, luego

realizaron el diseño de mezclas elaborando 24 briquetas para el ensayo Marshall. Como resultados obtuvieron una estabilidad de 20.46 KN, flujo 0.01” y 3% relación de vacíos, con las proporciones de 6% de asfalto y 1% de residuos de plástico en reemplazo del agregado fino. Concluyeron a mayor porcentaje de plástico reutilizable en la mezcla, se reduce la cantidad de asfalto.

Quipusco y Villegas (2019), en la tesis de pregrado titulada “Efectos de sustituir agregado grueso convencional por Siderúrgico en las propiedades físico-mecánicas de mezcla asfáltica en caliente”, como objetivo plantearon la influencia que genera la adición de agregado siderúrgico a la mezcla bituminosa. Realizaron la caracterización de los agregados pétreos, luego utilizaron contenidos de asfalto en 4.5%, 5%, 6% y 6.5% en la fabricación de briquetas, para hallar el óptimo contenido de asfalto, así mismo para el diseño experimental usaron 0, 25, 50, 75, 100% de escoria siderúrgica en reemplazo del agregado grueso las cuales se ensayaron según el método Marshall, realizándose 150 especímenes. Obtuvieron los resultados donde el ensayo de desgaste por abrasión para agregado grueso y escoria de acero es de 16.48% y 26.34% respectivamente, así mismo determinaron el óptimo contenido de escoria de acero que fue de 12.56% con una estabilidad de 20.84 KN, de igual manera el óptimo porcentaje de asfalto es 5,10%. Finalmente establecieron como conclusión a mayor porcentaje de adición del árido artificial se requiere mayor porcentaje de asfalto y la mezcla presenta más vacíos.

Pérez (2018), en la tesis titulada “Diseño de mezclas asfálticas en caliente con la adición de escoria metalúrgica–Lima, 2018”, planteó determinar cómo influye la sustitución de escoria Siderúrgica en la producción de mezcla asfáltica en caliente (MAC). Caracterizó el agregado grueso y fino para determinar sus propiedades mecánicas en el ensayo Marshall, utilizó 4.4%, 4.9%, 5.4% y 5.9% de asfalto de PEN 60/70 para evaluar el mejor porcentaje de asfalto, se ensayaron en total 68 briquetas mediante el método Marshall con 10% de escoria para tránsito pesado, 15% de escoria para tránsito medio y 12% de escoria para tránsito liviano. Obtuvo como resultados que el óptimo de asfalto es 5.53%, en la mezcla convencional determinaron una estabilidad de 13.538 KN, asimismo para el diseño experimental con 10%, 12% y 15% de escoria de

acero en la mezcla presentó una estabilidad de 15.445 KN, 14.892 KN y 12.536 KN. Finalmente estableció como conclusión que el 15% de escoria mejora sus propiedades como la estabilidad, flujo y vacíos en la mezcla.

Álvarez y Carrera (2017), en su tesis titulada "Influencia de la incorporación de partículas de caucho reciclado como agregados en el diseño de mezcla asfáltica", establecieron evaluar la influencia de adicionar caucho reciclado, en sus propiedades físicas de mezcla bituminosa, mediante el ensayo Marshall para el diseño de pavimentos flexibles. Como metodología realizaron tres briquetas por cada variación del contenido de granulo de caucho añadido a la mezcla asfáltica, en total fabricaron 87 briquetas de las cuales 18 son para el ensayo Marshall patrón y 69 para el ensayo experimental, cada probeta cilíndrica tiene 6.35 cm (2½") de altura y 10.16 cm (4") de diámetro según norma. Como resultados obtuvieron con un 1.5% y 2% de caucho reutilizable mejora el flujo y la estabilidad de mezcla asfáltica modificada. Como conclusión establecieron que a medida que se aumenta el porcentaje de caucho disminuye el porcentaje de vacíos de la briqueta.

A fin de comprender a más detalle el desarrollo de las variables y sus indicadores, explicamos, tanto a nivel teórico como normativo.

Mezcla asfáltica: En la fabricación se emplean agregados pétreos, cemento asfáltico y llenante mineral (filler), en los porcentajes aproximados del 95% de agregados pétreos, un 5% de cemento asfáltico, estas proporciones definen las propiedades como: trabajabilidad, estabilidad, flujo, durabilidad y resistencia al deslizamiento (neumático – pavimento) en la mezcla. Las mezclas asfálticas son fabricadas en plantas fijas o móviles, siendo utilizadas principalmente en obras viales como carreteras y aeropuertos (Dávalos, 2015).

También se consideran las características físicas de la mezcla asfáltica en caliente.

Densidad real de la mezcla: viene a ser la relación entre el volumen y el peso de la mezcla, se utiliza para controlar la compactación, la mezcla que se compacta en laboratorio se le denomina densidad patrón (Minaya y Ordoñez, 2006).

Vacíos de aire en la mezcla (VTM): se le denomina a todo espacio de aire que está atrapado en la briqueta compactada. Cuando mayor sea el porcentaje de vacíos la mezcla aumentará su permeabilidad. Para el diseño de mezcla convencional en laboratorio son de 3% a 5%, en el campo el máximo valor permitido es de 8%, con lo cual se compacta bajo la acción del tráfico para llegar a lo requerido por las especificaciones técnicas vigentes. Con un alto porcentaje de vacíos será una mezcla permeable y porosa asimismo con bajo porcentaje de vacíos es perjudicial para la mezcla por lo que cuando la mezcla está bajo carga de tráfico el asfalto se acomoda en vacíos atrapados en la mezcla, si los vacíos son pequeños el asfalto no podrá adecuarse y saldrá a la superficie a esto se denomina exudación (Minaya y Ordoñez, 2006).

Vacíos en el agregado mineral (VMA): se considera a los vacíos de aire atrapados en el agregado mineral, si los vacíos en el agregado pétreo son bajos el recubrimiento de cemento asfáltico será delgado. Si presenta mayor porcentaje de vacíos en el agregado pétreo el recubrimiento de cemento asfáltico será mayor y la mezcla tendrá más tiempo de vida útil (Minaya y Ordoñez, 2006).

Contenido de asfalto: porcentaje que se adiciona para la fabricación de la mezcla asfáltica. Una porción del cemento asfáltico será absorbida por los agregados y otra formará una capa que recubre todas las partículas de los áridos, al primero se conoce como asfalto absorbido (P_{ba}) y el segundo como asfalto efectivo (P_{be}). Para el óptimo porcentaje de cemento asfáltico de la mezcla está de acuerdo a su granulometría y al porcentaje de absorción de los agregados pétreos (Minaya y Ordoñez, 2006).

Tipos de mezcla asfáltica se clasifican en:

Mezcla asfáltica en caliente (MAC): Es toda mezcla que utiliza cemento asfáltico como ligante se denomina mezcla asfáltica en caliente teniendo que calentarse entre 135 y 160 C° para poder mezclarlo con los agregados pétreos (Rondón y Reyes, 2015).

Mezcla asfáltica en frío: Son fabricadas con asfalto, grava, arena gruesa y llenante mineral, dicha mezcla se caracteriza por su trabajabilidad, para la fabricación de la mezcla el asfalto se calienta hasta 60 °C, los agregados pétreos no se calientan (Kraemer, et al, 2004)

Mezcla asfáltica modificada: Es toda mezcla que presenta modificadores como polietileno (PE), SBS (estireno-butadieno-estireno), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (P.V.C) y cauchos artificiales (Neopreno), que permiten mejorar las características del asfalto como: la disminución de la deformación plástica a elevadas temperaturas, aumenta la rigidez a altas temperaturas de servicio, presenta mejor adherencia con el agregado grueso y aumenta la resistencia a la fatiga mejorando el pavimento ante cargas de servicio más exigentes (Menéndez, 2009).

Ensayos estándar para el asfalto, según Menéndez (2009), en el Perú el ensayo que se emplea para clasificar los asfaltos es el ensayo de penetración de igual modo para determinar la consistencia del asfalto también se realizan otros ensayos como son:

Ensayo de penetración: Es la consistencia que experimenta el cemento asfáltico cuando en él se deja penetrar una aguja de dimensiones especificadas con una masa de 100 gr a una temperatura constante de 25 °C durante un tiempo de 5 segundos, dicho ensayo tiene como objetivo evaluar su rigidez y la consistencia del cemento asfáltico, si la distancia de la aguja penetra poco al cemento asfáltico este será más rígido, este ensayo es la base por el cual se clasifican los diferentes grados de penetración estándar PEN 60/70, PEN 85/100 y PEN 120/150 de asfalto (Rondón y Reyes, 2015).

Ensayo punto de ablandamiento: La consistencia del grado de penetración también puede ser determinado midiendo su punto de ablandamiento. En una muestra de asfalto contenido en un anillo de bronce se coloca una esfera de peso 3.5 gr luego es sumergido en agua o glicerina según sea el caso, la glicerina se utiliza para punto de ablandamiento mayores a 80 °C y el agua para punto de ablandamiento menores a 80 °C en asfaltos, el asfalto se deforma y ablanda lentamente con la esfera a través del anillo, en el momento que el asfalto y la esfera de acero llegan a la superficie de la placa a 25 mm debajo del anillo se registra la temperatura, dicho ensayo se realiza dos veces y como resultado se obtiene el promedio de las dos temperaturas el cual será el punto de ablandamiento del asfalto (Menéndez, 2009).

Materiales para la fabricación de una mezcla asfáltica en caliente:

Cemento asfáltico, según el manual de especificaciones técnicas EG-2013, es un aglomerante bituminoso, es sólido a temperatura ambiental, se clasifica de acuerdo a dos ensayos: viscosidad y grado de penetración.

Agregados pétreos, según Rondón y Reyes (2015), en la fabricación de pavimentos lo conforman gravas, arenas, finos o filler deben ser un material natural, producto de trituración, cribado y en algunos casos lavado. Tenemos los siguientes

Agregado grueso, según la NTP 400.037 (2014), en el ensayo de granulometría por tamizado se considera agregado grueso a la muestra retenida en el tamiz N° 4 (4.75 mm) procedente de la descomposición natural o artificial de la roca.

Agregado fino, según la NTP 400.037 (2014), es el material que pasa por el tamiz 3/8 pulgadas (9.5mm) y queda retenido en el tamiz N° 200.

Escoria de acero, de acuerdo a Seefeldt (2020), en la fabricación de acero se obtiene impurezas en los minerales de hierro formándose la escoria de acero que es una mezcla que contiene aluminatos, silicatos, sulfuros, óxidos de calcio y magnesio, la escoria se forma por una capa en la superficie del metal fundido su principal función de la escoria es absorber y retener las impurezas del metal en la superficie. Tiene diferentes usos como en la fabricación de cemento Portland, concreto premezclado y agregado en las mezclas asfálticas.

Filler según el manual de especificaciones técnicas EG-2013, es un material que da el acabado a la mezcla asfáltica, teniendo por finalidad completar la granulometría del agregado fino y mejorar su comportamiento, pueden emplearse como Filler la ceniza fina, polvo de escoria, cemento portland y cal hidratada entre otros.

Ensayos para agregados, según el manual de ensayo de materiales (2016), se realizan dichos ensayos para determinar la calidad de los agregados.

Peso unitario y vacíos en agregados, según el MTC E 203 (2016), su objetivo es determinar el porcentaje de vacíos en los agregados grueso y fino, también el peso unitario del material suelto y compactado. En dicho ensayo se utiliza balanza, recipiente, varilla compactadora, pala. Referencia normativa NTP 400.017.

Análisis granulométrico del agregado fino y grueso, según el MTC E 204 (2016), determina el procedimiento manual o mecánico para la distribución de tamaño de partículas para uso como agregados o para aquellos similares. Dichos resultados deben cumplir con el control de calidad para los agregados y para la NTP 400.012, una muestra representativa del material es colocada en diferentes tamices que van de mayor a menor abertura, permite determinar porcentajes de la muestra que es retenido y pasa en cada diferente tamiz. Peso específico y absorción del agregado grueso, según el MTC E 206 (2016), tiene como objetivo determinar el peso específico aparente (base seca), peso específico bulk (base seca), peso específico bulk (base saturada) y la absorción (transcurrido de 24 horas) de los agregados. Donde el peso específico determina el volumen que ocupa el árido grueso en la mezcla de concreto y concreto bituminoso. En este ensayo se utiliza balanza hidrostática, una cesta metálica malla N° 10, horno 110 ± 5 °C, franela y recipientes. Referencia normativa NTP 400.021.

Desgaste abrasivo de los ángeles, de acuerdo con el MTC E 207 (2016), tiene como objetivo determinar la gradación del agregado grueso de tamaño menores de 37,5 mm (1 ½") mediante la máquina de los ángeles para medir la resistencia a la abrasión con una carga abrasiva. Para realizar dicho ensayo se utiliza máquina de los ángeles, bandeja metálica, carga abrasiva, tamiz N° 12 y balanza.

Durabilidad en sulfatos de magnesio y sodio, para el MTC E 209 (2016), tiene como finalidad determinar la resistencia del agregado pétreo a desintegrarse mediante el ataque con soluciones saturadas de sulfato de sodio o magnesio, se sumerge la muestra en la solución durante un periodo de tiempo de entre 16 a 18 horas, luego se seca la muestra en horno eléctrico, luego se sumerge en el sulfato después de un tiempo se seca la muestra, se repite el proceso anterior hasta cumplir con los ciclos requeridos. En dicho ensayo se utiliza horno de secado, tamices, envases, medida de peso específico, regulador de la temperatura, balanza, solución de sodio y solución de magnesio, en el ensayo para la muestra de agregado fino se pasará por el tamiz normalizado de 3/8" (9.5 mm), para el ensayo del agregado grueso será el material retenido en el tamiz número N° 4 (4.75 mm).

Ensayo para determinar el porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso, según el MTC E 210 (2016), tiene por objetivo determinar el porcentaje en masa de agregado grueso de un material que contiene una o dos caras fracturadas, como propósito tiene maximizar el esfuerzo cortante en la mezcla del agregado compacto o suelto.

Partículas alargadas y chatas en agregado grueso, según el MTC E 233 (2016), tiene como finalidad determinar el porcentaje de partículas chatas y alargadas, dentro de una muestra significativa de agregado grueso, referencia normativa ASTM D 4791.

Adherencia en bandeja, según el MTC E 520 (2016), este ensayo tiene como fin determinar el porcentaje de partículas de agregado grueso que se adhieren al asfalto. Se utiliza para dicho ensayo bandeja normalizada, horno de temperatura constante a ± 1 ° C y agua destilada. Referencia normativa I.N.V. E - 740 - 07.

Ensayos realizados al agregado fino, según el manual de ensayo de materiales MTC (2016).

Determinación de límites de consistencia (LL), (LP) y (IP), según el MTC E 111 (2016), dicho ensayo tiene como objetivo determinar el límite líquido (LL), límite plástico (LP) y calcular el índice de plasticidad (IP) de una muestra representativa de suelo. Los equipos y materiales que se utilizan son: espátula, recipiente, balanza con una sensibilidad 0.01 g, horno, tamiz N° 40, superficie de rodadura y vidrios de reloj. Referencias normativas NTP 339.129.

Absorción y Peso específico del agregado fino, según el MTC E 205 (2016), tiene como objetivo determinar la cantidad de material que ocupa un determinado volumen sin incluir los vacíos, peso específico aparente (base seca), peso específico bulk (base seca), peso específico bulk (base saturada) y la absorción. En el ensayo se utiliza molde cónico con su respectivo pisón, una fiola de 500 cm³, una balanza con 0.1 gr de sensibilidad y un horno 110 \pm 5 °C. Referencia normativa NTP 400.022.

Ensayo realizado a la mezcla asfáltica:

Estabilidad Marshall: la estabilidad en el ensayo de Marshall se realiza colocando una probeta cilíndrica horizontalmente y aplicando una carga

vertical. Cuando ocurre una falla, cuando se aplica la carga máxima, lea la estabilidad que pueden soportar las briquetas (Minaya y Ordóñez, 2006).

flujo de Marshall: simboliza la deformación de las briquetas, esta medida en centésimas de pulgadas. La mezcla con valores de flujo bajos y valores de estabilidad muy altos se consideran demasiado frágiles y demasiado duras para la superficie de la carretera en uso (Asphalt Institute MS-22, 2020).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

- ✓ Según Enfoque es cuantitativa porque se utilizó la recolección de datos como ensayos de laboratorio con la finalidad de obtener resultados, con lo cual se demostró la hipótesis.
- ✓ Según Finalidad es de tipo básica, dado que al mejorar sus propiedades físico mecánicas con la incorporación de escoria de acero en la mezcla asfáltica se pretende obtener un pavimento con mayor tiempo de vida útil.
- ✓ Según Nivel es explicativa, porque se determinó como influye la adición de la escoria de acero en las propiedades físico mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente, teniendo una relación causa efecto.
- ✓ Según Temporalidad es transversal, porque se realizó a las briquetas el ensayo Marshall para determinar en qué porcentaje mejora las propiedades con la adición de escoria de acero en la mezcla.

Diseño de investigación

Esta investigación presenta un diseño experimental del tipo cuasi experimental, según Hernández, Baptista y Fernández (2014), nos indica que es experimental porque son estudios que se realizarán con la manipulación de variables, en nuestro desarrollo se comparó las propiedades físico mecánicas de briquetas elaboradas con mezcla asfáltica convencional/modificada con escoria de acero.

Esquema:

| | | |
|----|-------|----|
| G1 | ----- | O1 |
| G2 | X2 | O2 |
| G3 | X3 | O3 |
| G4 | X4 | O4 |
| G5 | X5 | O5 |

G1: Grupo de briquetas control

G2: Grupo de briquetas experimentales con 15% de escoria de acero

G3: Grupo de briquetas experimentales con 25% de escoria de acero

G4: Grupo de briquetas experimentales con 50% de escoria de acero

G5: Grupo de briquetas experimentales con 75% de escoria de acero

X=Tratamiento experimental.

O1=Medición sin escoria de acero

O_i(i=2,3,4,5): Medición de propiedades en la mezcla.

X_i(i=2,3,4,5): Sustitución del agregado grueso por escoria siderúrgica en 15%, 25%, 50% y 75% respectivamente.

--- = No se adiciona escoria de acero.

3.2. Variables y operacionalización

Las variables de estudio son escoria de acero (variable independiente) y propiedades físico mecánicas de mezclas asfálticas en caliente (variable dependiente), clasificadas como cuantitativas. Además, los indicadores que comprende son: Análisis granulométrico (%), porcentaje escoria de acero (15%, 25%, 50%, 75%), arena equivalente (%), peso específico de agregados (g/cm³), peso unitario de agregados (g/cm³), absorción de agregados (%), durabilidad de agregados al sulfuro de magnesio (%), ensayo de adherencia en bandeja (%), desgaste abrasivo de los ángeles (%), caras fracturadas en agregados (%), partículas chatas y alargadas en agregados (%), humedad natural de agregados (%) estabilidad (KN), flujo (mm), densidad (g/cm³), vacíos en la mezcla VTM (%), vacíos en el agregado mineral VMA (%). Se adjuntó en la matriz de operacionalización de variables (Anexo 1).

3.3. Población, muestra y muestreo

Población:

Mezcla asfáltica en caliente elaborada con agregados grueso y fino, agregado siderúrgico y asfalto PEN 60/70.

Muestra:

Estuvo constituida por 44 briquetas en total de las cuales 28 serán para la mezcla convencional y 16 para el diseño de mezclas con diferentes proporciones de escoria de acero.

Tabla 1. Cantidad de especímenes para determinar el óptimo contenido de asfalto en la mezcla tipo B.

| Descripción | Cantidad de briquetas | Contenido de asfalto (%) |
|-------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Mezcla asfáltica convencional | 4 | 5 |
| | 4 | 5.5 |
| | 4 | 6 |
| | 4 | 6.5 |
| | 4 | 7 |
| | 4 | 7.5 |
| | 4 | 8 |
| Total | | 28 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Cantidad total de especímenes en referencia a la clase de mezcla.

| Descripción: Estabilidad, flujo Densidad y vacíos de aire. | Dosificación de escoria de acero (%) | Tipo de Mezcla |
|---|--|------------------|
| Briquetas a ensayar por cada diseño | Proporciones | Tránsito mediano |
| G2 (Experimental 1) | 15 | 4 |
| G3 (Experimental 2) | 25 | 4 |
| G4 (Experimental 3) | 50 | 4 |
| G5 (Experimental 4) | 75 | 4 |
| Total | | 16 |

Fuente: elaboración propia.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnica: Se empleó la técnica de observación de laboratorio directa, donde se determinó las características físicas del agregado pétreo y siderúrgico cumpliendo con la normativa vigente establecida por instituciones nacionales e internacionales, con los agregados y el asfalto se realizó el diseño de mezclas convencional y modificado, para luego elaborar las briquetas y ser ensayadas mediante el método Marshall.

Instrumentos: Se utilizó la ficha de laboratorio, cuyos formatos están estandarizados según distintas normas.

- Análisis granulométrico de agregados pétreos según norma ASTM C 136.
- Absorción y peso específico del agregado fino y grueso según norma ASTM C 128 y ASTM C 127 respectivamente.
- Peso unitario compactado y suelto del agregado grueso y fino según norma ASTM C 29.
- Humedad natural del agregado fino y grueso según norma ASTM C 566.
- Arena equivalente según norma NTP 339.146.
- Porcentaje de caras fracturadas en agregados según norma MTC E 210.
- Partículas achatadas y largas según norma ASTM D-4791.
- Adherencia en bandeja según norma I.N.V.E 740.07.
- Durabilidad de agregados por medio de sulfuro de magnesio según norma MTC E 209.
- Abrasión de los ángeles según norma ASTM C 131.
- Ensayo de Marshall ASTM D-1559.

Se adjuntó en el (Anexo 3).

3.5. Procedimientos

Se comenzó con la obtención de todos los materiales como el cemento asfáltico PEN 60/70, agregados pétreos grueso y fino de la cantera el Milagro y escoria de acero esta última le otorga a la mezcla asfáltica una alta estabilidad Marshall y disminuye el flujo, luego se procedió a determinar las características físicas de los agregados convencionales y agregado siderúrgico como granulometría, absorción y peso específico, peso unitario, humedad natural, arena equivalente, porcentaje de caras fracturadas en agregados, partículas alargadas y chatas, adherencia en bandeja, durabilidad de agregados en magnesio y desgaste abrasivo de los ángeles, para así garantizar la calidad de los agregados, asimismo de los siguientes porcentajes de asfalto de 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7%, 7.5% y 8% PEN 60/70 se determinó el contenido óptimo de asfalto usando el método Marshall donde se utilizó la norma (instituto del asfalto 2001), para el diseño de mezclas modificadas se determinó el peso de los materiales para una briqueta de 1200 gr, se elaboró un total de 44 briquetas para su posterior

ensayo, con cuatro porcentajes de 15%, 25%, 50% y 75% de escoria de acero como sustituto del agregado grueso, con el 0% de escoria de acero es para la muestra patrón, se elaboró las briquetas con una compactación de 50 golpes para el diseño de la mezcla B, como punto final se comparó las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica convencional respecto a la modificada.

3.6. Método de análisis de datos

Para el análisis de datos recopilados se utilizó software estadístico SPSS, Excel, mediante una estadística descriptiva empleando métodos como: media, desviación estándar, varianza, anova y Tukey. Asimismo, se utilizó pruebas no paramétricas Kruskal-Wallis y U de Mann-Whitney.

3.7. Aspectos éticos

En el desarrollo de esta investigación se ha obtenido resultados de laboratorio de manera satisfactoria, real y confiable los cuales no serán manipulados cumpliendo de acuerdo a la norma técnica ASTM, Manual de ensayo de materiales, ISO 9001, Norma Técnica CE.010 Pavimentos Urbanos-IGC, Manual de carreteras EG-2013, entre otras.

IV. RESULTADOS

4.1. Características físicas de los agregados pétreos y artificial.

4.1.1. Análisis granulométrico de agregados pétreos.

En el análisis granulométrico se utilizó 1013.76 gr de agregado grueso, 617.04 gr de agregado fino y 1190 gr de escoria de acero, se realizó de acuerdo a la norma MTC E 204. Para determinar los porcentajes de agregados requeridos para el diseño de mezclas.

Tabla 3. Análisis granulométrico del agregado grueso.

| Tamiz N° | Abertura (mm). | Peso Retenido (gr.) | Parcial Retenido (%) | Retenido Acum. (%) | Pasante (%) |
|----------|-------------------|---------------------|----------------------|--------------------|-------------|
| 1 1/2" | 37.500 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 100.0 |
| 1" | 23.000 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 100.0 |
| 3/4" | 19.000 | 113.44 | 11.19 | 11.20 | 88.8 |
| 1/2" | 12.500 | 368.19 | 36.32 | 47.52 | 52.5 |
| 3/8" | 9.500 | 245.70 | 24.24 | 71.76 | 28.3 |
| N°4 | 4.750 | 268.73 | 26.51 | 98.30 | 1.7 |
| N°8 | 2.360 | 13.42 | 1.32 | 99.62 | 0.4 |
| N°16 | 1.100 | 0.39 | 0.04 | 99.66 | 0.4 |
| N°30 | 0.600 | 0.31 | 0.03 | 99.69 | 0.4 |
| N°50 | 0.297 | 0.27 | 0.03 | 99.72 | 0.3 |
| N°100 | 0.149 | 1.32 | 0.13 | 99.85 | 0.2 |
| N°200 | 0.075 | 1.06 | 0.10 | 99.95 | 0.1 |
| FONDO | | 0.93 | 0.05 | 100.0 | 0.0 |
| | PESO TOTAL | 1013.76 | 100 | T.M | 3/4" |
| | | | | T.M. N | 1/2" |

Fuente: elaboración propia.

El resultado obtenido presentó un módulo de finura (MF) de 7.16, también un T.M de 3/4" y T.M.N de 1/2".

T.M: tamaño máximo de agregado

T.M.N: tamaño máximo nominal

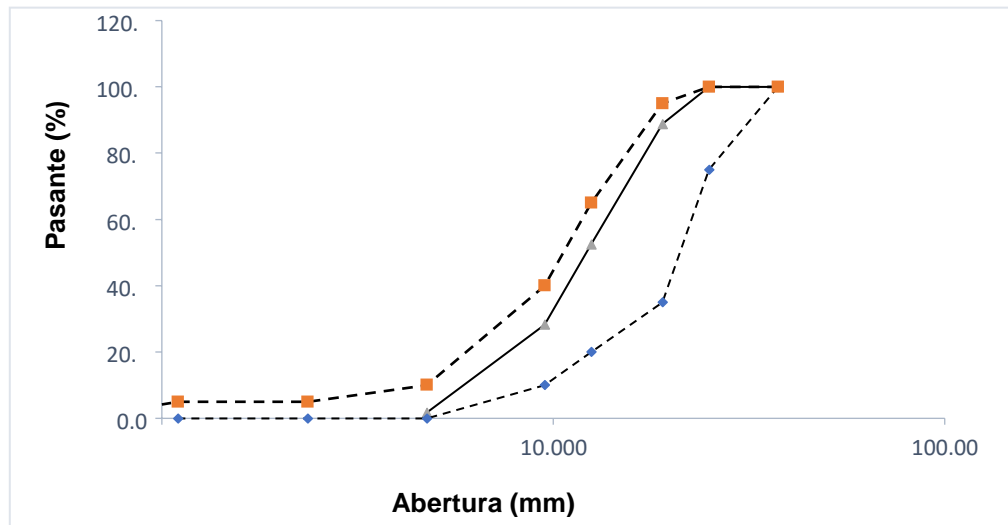


Figura 1. Curva granulométrica del Ag. Grueso.

Fuente: elaboración propia.

La curva de la figura 1, se verificó que el ensayo granulométrico, está dentro del parámetro que establece la norma ASTM C136.

Tabla 4. Análisis de granulometría del agregado fino.

| Tamiz N° | Abertura (mm) | Peso Retenido (gr) | (%) Parcial Retenido | Retenido Acum. (%) | Pasante (%) |
|--------------|---------------|--------------------|----------------------|--------------------|-------------|
| 3/8" | 9.510 | 9.13 | 1 | 1 | 99 |
| N°4 | 4.750 | 11.67 | 2 | 3 | 97 |
| N°8 | 2.360 | 37.49 | 6 | 9 | 91 |
| N°16 | 1.180 | 116.94 | 19 | 28 | 72 |
| N°30 | 0.600 | 180.48 | 29 | 58 | 42 |
| N°50 | 0.297 | 111.79 | 18 | 76 | 24 |
| N°100 | 0.149 | 105.40 | 17 | 93 | 7 |
| N°200 | 0.075 | 42.44 | 7 | 100 | 0 |
| Fondo | | 1.70 | 0 | 100 | 0 |
| | Peso total. | 617.04 | 100 | M.F | 3.67 |

Fuente: elaboración propia.

Se obtuvo el módulo de finura de 3.67.

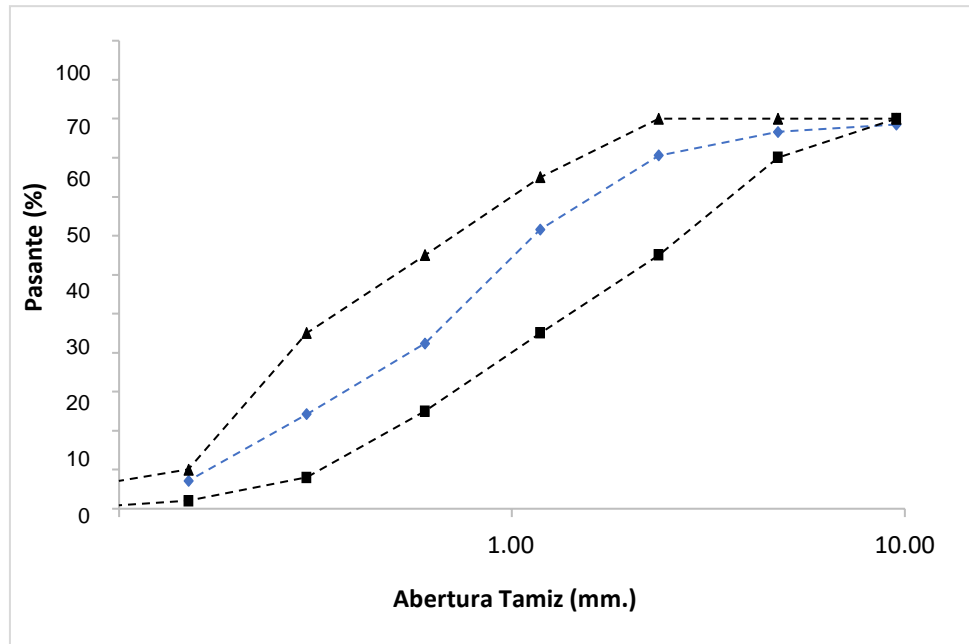


Figura 2. Curva granulométrica del Ag. Fino.

Fuente: elaboración propia.

La curva de la figura 2, se verificó que el ensayo granulométrico, está dentro del parámetro que establece la norma ASTM C136.

Módulo de finura: Para determinar el resultado del módulo de finura se sumó los porcentajes retenidos acumulados y se dividió entre el 100%.

Se calculó el módulo de finura del agregado grueso.

$$MF = \frac{\sum \%Ret. Acumulado (1/2"; 3/8"; N^{\circ}4,; N^{\circ}8; N^{\circ}16; N^{\circ}30; N^{\circ}50; N^{\circ}100)}{100}$$

$$MF = \frac{(47.52 + 71.76 + 98.30 + 99.62 + 99.66 + 99.69 + 99.72 + 99.85)}{100}$$

$$MF = 7.16$$

Se calculó el módulo de finura del agregado fino.

$$MF = \frac{\sum \%RET. ACUMULADO (N^{\circ}4,; N^{\circ}8; N^{\circ}16; N^{\circ}30; N^{\circ}50; N^{\circ}100)}{100}$$

$$MF = \frac{(3 + 9 + 28 + 58 + 76 + 93 + 100)}{100}$$

$$MF = 3.67$$

Tabla 5. Análisis de granulometría de la escoria de acero.

| Tamiz | Abertura (mm.) | Peso retenido (g). | Parcial retenido (%). | Retenido Acum. (%) | Pasante (%) |
|--------|----------------|--------------------|-----------------------|--------------------|-------------|
| 1 1/2" | 37.500 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 100.0 |
| 1" | 25.000 | 10.40 | 0.87 | 0.9 | 99.1 |
| 3/4" | 19.000 | 154.14 | 12.95 | 13.8 | 86.2 |
| 1/2" | 12.500 | 363.59 | 30.55 | 44.4 | 55.6 |
| 3/8" | 9.500 | 272.13 | 22.87 | 67.2 | 32.8 |
| Nº4 | 4.750 | 320.64 | 26.94 | 94.2 | 5.8 |
| Nº8 | 2.360 | 27.92 | 2.35 | 96.5 | 3.5 |
| Nº16 | 1.100 | 30.24 | 2.54 | 99.1 | 0.9 |
| Nº30 | 0.600 | 5.87 | 0.49 | 99.6 | 0.4 |
| Nº50 | 0.297 | 0.27 | 0.02 | 99.6 | 0.4 |
| Nº100 | 0.149 | 1.32 | 0.11 | 99.7 | 0.3 |
| Nº200 | 0.075 | 2.55 | 0.21 | 99.9 | 0.1 |
| | Fondo | 0.93 | 0.08 | 100.0 | 0.0 |
| | | 1190.00 | 100 | T.M. | 1" |
| | | | | T.M.N. | 3/4" |

Fuente: elaboración propia.

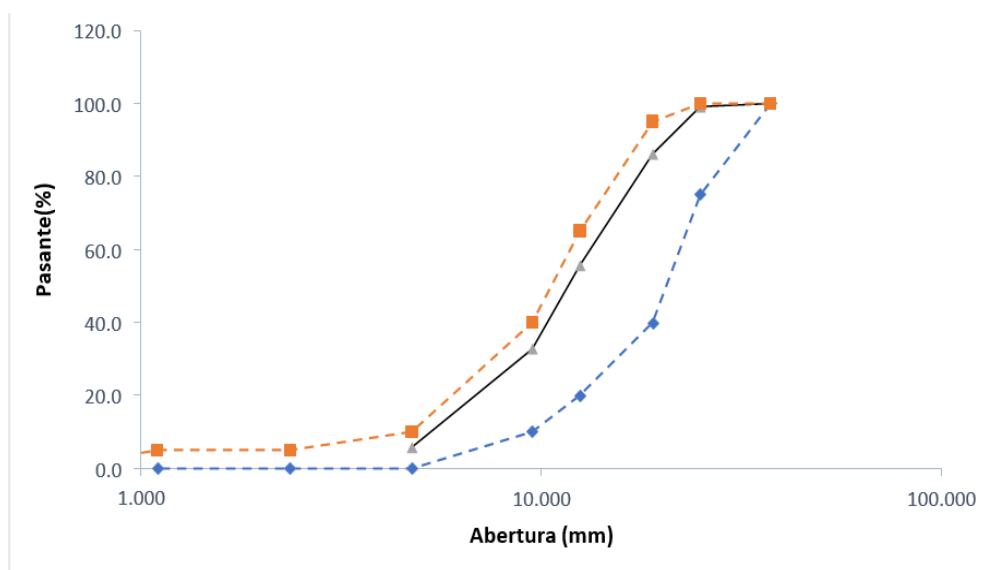


Figura 3. Curva granulométrica de la escoria de acero.

La curva de la figura 3, se verificó que el ensayo granulométrico de la escoria de acero, está dentro del parámetro que establece la norma ASTM C136.

En la caracterización de la combinación del agregado grueso y fino para la fabricación de la mezcla se realizó según la sección 423 del

manual de carreteras EG-2013, la gradación de los agregados debe estar dentro de algunos de los siguientes husos granulométricos, como se muestra en la (figura 4).

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

Figura 4. Especificaciones para la gradación de la mezcla.

Tabla 6. Análisis granulométrico para los agregados grueso y fino.

| Tamiz ASTM | Abertura (mm) | Peso Retenido (gr) | Ret. Acumulado (%) | Pasante (%) | Especificación (MAC-2) | |
|------------|---------------|--------------------|--------------------|-------------|------------------------|------------|
| | | | | | Li | Ls |
| 3/4" | 19.050 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 100 | 100 |
| 1/2" | 12.700 | 18.00 | 2.52 | 97.48 | 80 | 100 |
| 3/8" | 9.525 | 75.40 | 13.09 | 86.91 | 70 | 88 |
| Nº 4 | 4.760 | 94.84 | 39.39 | 60.61 | 51 | 68 |
| Nº 10 | 2.000 | 75.62 | 56.14 | 43.86 | 38 | 52 |
| Nº 40 | 0.420 | 58.64 | 80.32 | 19.68 | 17 | 28 |
| Nº 200 | 0.074 | 2.48 | 95.21 | 4.79 | 4 | 8 |

Fuente: elaboración propia.

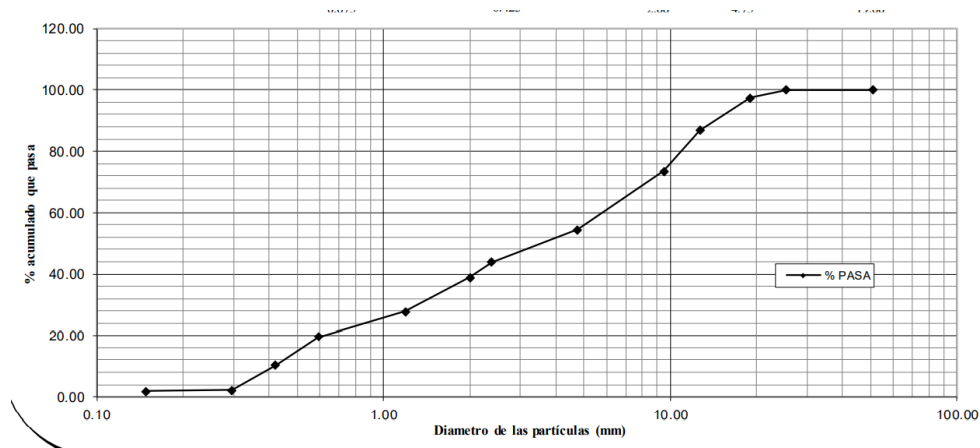


Figura 5. Curva granulométrica de la combinación de agregados pétreos.

De la tabla 6, del análisis granulométrico presentó 39.39% de agregado grueso y 60.61% de agregado fino, dicho material tiene mayor porcentaje de finos por lo cual se consideró mejorar el agregado grueso extraído de la cantera el Milagro, se incorporó 5.61% de grava de ¾", así mismo se resta 5.61% al agregado fino, se obtuvo como porcentajes finales para el diseño de mezclas un 45% de agregado grueso y 55% de agregado fino.

4.1.2. Peso específico y absorción del agregado grueso.

| Ensayos | Norma | Requerimiento | |
|--------------------------------------|-----------|----------------|-----------|
| | | Altitud (msnm) | |
| | | ≤3.000 | >3.000 |
| Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) | MTC E 209 | 18% máx. | 15% máx. |
| Abrasión Los Ángeles | MTC E 207 | 40% máx. | 35% máx. |
| Adherencia | MTC E 517 | +95 | +95 |
| Índice de Durabilidad | MTC E 214 | 35% mín. | 35% mín. |
| Partículas chatas y alargadas | ASTM 4791 | 10% máx. | 10% máx. |
| Caras fracturadas | MTC E 210 | 85/50 | 90/70 |
| Sales Solubles Totales | MTC E 219 | 0,5% máx. | 0,5% máx. |
| Absorción * | MTC E 206 | 1,0% máx. | 1,0% máx. |

Figura 6. Especificaciones para los agregados gruesos según el MTC.

Fuente: manual de especificaciones técnicas MTC EG-2013.

Los ensayos se realizaron en la ciudad de Trujillo que se encuentra a 34 msnm, por esta razón se ubicó en una altitud menor o igual a 3000 msnm como indica la (figura 6), según la sección 423 del manual de especificaciones técnicas MTC EG-2013, en el siguiente párrafo se describe el procedimiento que se utilizó para el ensayo de peso específico del agregado grueso.

Se realizó el cuarteo de la muestra, luego se pasó por la malla N°4 en seguida fue lavada la muestra para así eliminar las impurezas o arcillas, la cual fue saturada con agua, como último paso se secó la muestra en un horno a $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ la muestra fue retirada y pesada con lo cual se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 7. *Peso específico del agregado grueso.*

| Descripción. | Muestras | | |
|---|----------|---------|---------|
| | 01 | 02 | 03 |
| B =Peso de muestra SSS (gr) | 417.54 | 419.34 | 422.39 |
| C = Peso de muestra SSS (gr) | 262.00 | 263.47 | 265.84 |
| Peso de bandeja (gr) | 87.00 | 87.00 | 87.00 |
| Peso de bandeja + material seco (gr) | 323.45 | 323.65 | 324.94 |
| A = Peso del material secado (gr) | 410.45 | 409.65 | 411.94 |
| Peso específico de masa SSS (kg/m ³) | 2684.45 | 2690.32 | 2698.12 |
| Peso específico aparente (kg/m ³) | 5195.36 | 1357.67 | 1361.80 |
| Pem: Peso específico de masa (kg/m ³) | 2639 | 2635 | 2631 |
| Peso específico de masa promedio (kg/m ³) | 2635 | | |

Fuente: elaboración propia.

Peso específico de masa (P_{em})

Muestra 1.

$$P_{em} = \left(\frac{A}{B - C} \right) * 100$$
$$P_{em} = \left(\frac{410.45}{417.54 - 262.00} \right) * 100$$
$$P_{em} = 2639$$

Muestra 2.

$$P_{em} = \left(\frac{409.65}{419.34 - 263.47} \right) * 100$$
$$P_{em} = 2635$$

Muestra 3.

$$P_{em} = \left(\frac{411.94}{422.39 - 265.84} \right) * 100$$
$$P_{em} = 2631$$

Promedio:

$$P_{em} = \left(\frac{2639 + 2635 + 2631}{3} \right) \text{ kg/m}^3$$
$$P_{em} = 2635 \text{ kg/m}^3$$

Del promedio de los ensayos se obtuvo 2635 kg/m³.

Tabla 8. Absorción del agregado grueso

| Descripción | Muestras | | |
|-------------------------------|----------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 |
| B =Peso de muestra SSS (gr) | 417.54 | 419.34 | 422.39 |
| A = Peso de muestra seca (gr) | 410.45 | 409.65 | 411.94 |
| Absorción (%) | 1.7 | 2.4 | 2.5 |
| Absorción promedio (%.) | 2.2 | | |

Fuente: elaboración propia.

Absorción

Muestra 1.

$$Ab(\%) = \left(\frac{B - A}{A}\right) \times 100$$
$$Ab(\%) = \left(\frac{417.54 - 410.45}{410.45}\right) \times 100$$
$$Ab(\%) = 1.7$$

Muestra 2.

$$Ab(\%) = \left(\frac{419.34 - 409.65}{409.65}\right) \times 100$$
$$Ab(\%) = 2.4$$

Muestra 3.

$$Ab(\%) = \left(\frac{422.39 - 411.94}{411.94}\right) \times 100$$
$$Ab(\%) = 2.5$$

$$Ab(\%) = \frac{1.7 + 2.4 + 2.5}{3}$$
$$Ab = 2.2\%$$

Del promedio de los ensayos se obtuvo un porcentaje de absorción de 2.2%.

Según el manual de carreteras EG-2013, en la tabla 423-01 indica que el 1% es el máximo permitido de absorción, también indica que porcentajes mayores se aceptarán si se asegura la durabilidad de la mezcla. Como resultado se obtuvo un 2.2% de absorción en el árido.

4.1.3. Peso específico y absorción del agregado fino.

| Ensayos | Norma | Requerimiento | |
|---------------------------------------|--------------|--------------------|-----------|
| | | Altitud (m.s.n.m.) | |
| | | ≤ 3.000 | > 3.000 |
| Equivalente de Arena | MTC E 114 | 60 | 70 |
| Angularidad del agregado fino | MTC E 222 | 30 | 40 |
| Azul de metileno | AASTHO TP 57 | 8 máx. | 8 máx. |
| Índice de Plasticidad (malla N.º 40) | MTC E 111 | NP | NP |
| Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) | MTC E 209 | - | 18% máx. |
| Índice de Durabilidad | MTC E 214 | 35 mín. | 35 mín. |
| Índice de Plasticidad (malla N.º 200) | MTC E 111 | 4 máx. | NP |
| Sales Solubles Totales | MTC E 219 | 0,5% máx. | 0,5% máx. |
| Absorción* * | MTC E 205 | 0,5% máx. | 0,5% máx. |

Figura 7. Especificaciones para el agregado fino según el MTC.

Fuente: manual de especificaciones técnicas MTC EG-2013.

Los ensayos se realizaron en la ciudad de Trujillo donde la altitud es 34 msnm, se consideró como requerimiento una altitud menor o igual a 3000 msnm, como se muestra en la (figura 7).

Se tomó una cantidad de material de agregado de condición de saturado con superficie seca SSS se colocó en una fiola la cual fue aforada hasta la marca de la fiola, se puso en baño maría por una hora en seguida se vació el material en una bandeja de aluminio por último se colocó la muestra en un horno y se pesó finalmente se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 9. *Peso específico del agregado fino.*

| Descripción. | Ensayos | | |
|---|---------|--------|--------|
| | 01 | 02 | 03 |
| Volumen en la fiola (cm ³) | 500 | 500 | 500 |
| Peso en la fiola (gr) | 173.17 | 174.54 | 177.23 |
| B = Peso fiola + Agua (gr) | 690.32 | 693.54 | 694.14 |
| Peso fiola + muestra SSS (gr) | 545.57 | 554.78 | 558.14 |
| C = Peso fiola + muestra SSS + Agua (gr) | 922.43 | 921.56 | 927.09 |
| Peso de agua 5-4 (gr) | 376.86 | 366.78 | 368.95 |
| Peso de recipiente (gr) | 87.45 | 82.12 | 85.16 |
| Muestra seca + recipiente (gr) | 459.12 | 446.34 | 455.79 |
| A = Peso muestra secada en el horno (gr) | 371.67 | 364.22 | 370.63 |
| S = Peso de muestra SSS 4-2 (gr) | 372.40 | 380.24 | 380.91 |
| Pesss: peso específico SSS (kg/m ³ .) | 2655 | 2498 | 2574 |
| Pea: peso específico aparente (kg/m ³ .) | 2663 | 2674 | 2692 |
| Pem: peso específico de masa (kg/m ³ .) | 2649 | 2393 | 2505 |
| Pem: peso promedio (kg/m ³ .) | 2516 | | |

Fuente: elaboración propia.

Peso específico de masa (Pem)

Muestra 1.

$$Pem = \frac{A}{(B + S - C)} \times 100$$

$$Pem = \frac{371.67}{(690.32 + 372.4 - 922.43)} \times 100$$

$$Pem = 2649 \text{ kg/m}^3$$

Muestra 2.

$$Pem = \frac{364.22}{(693.54 + 380.24 - 921.56)} \times 100$$

$$Pem = 2393 \text{ kg/m}^3$$

Muestra 3.

$$Pem = \frac{371.67}{(694.14 + 380.91 - 927.09)} \times 100$$

$$Pem = 2505 \text{ kg/m}^3$$

$$Pem = \left(\frac{2649 + 2393 + 2505}{3} \right) \text{ kg/m}^3$$

$$Pem = 2516 \text{ kg/m}^3$$

Se obtuvo el promedio que fue de 2516 kg/m³

Tabla 10. Absorción del agregado fino.

| Descripción | Ensayo | | |
|--|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 |
| S = Peso de muestra SSS (gr) | 372.40 | 380.24 | 380.91 |
| A = Peso secada en el horno de muestra (gr) | 371.67 | 364.22 | 370.63 |
| Porcentajes de absorción (%) | 0.2 | 4.4 | 2.8 |
| Absorción promedio (%) | 2.5 | | |

Fuente: elaboración propia.

Muestra 1.

$$Ab = \left(\frac{S - A}{A} \right) \times 100$$
$$Ab = \left(\frac{372.40 - 371.67}{371.67} \right) \times 100$$
$$Ab = 0.2 \%$$

Muestra 2.

$$Ab = \left(\frac{380.24 - 264.22}{264.22} \right) \times 100$$
$$Ab = 4.4 \%$$

Muestra 3.

$$Ab = \left(\frac{380.91 - 370.63}{370.63} \right) \times 100$$
$$Ab = 2.8 \%$$
$$Ab = \frac{0.2 + 4.4 + 2.8}{3}$$
$$Ab = 2.5 \%$$

Se obtuvo la absorción promedio que presenta un valor de 2.5%.

Según el manual de carreteras EG-2013, en la tabla 423-02 indica que porcentajes mayores se aceptarán si se asegura la durabilidad de la mezcla. Como resultado se obtuvo un 2.5% de absorción resultando mayor a lo que especifica la norma que es de 0.5% máx.

4.1.4. Peso unitario suelto de los agregados-método suelto.

Peso unitario suelto P.U.S: Este ensayo se realizó de acuerdo al manual de ensayo de materiales MTC E 203, para dicho estudio se

pesaron los recipientes cilíndricos y se llenó con el agregado fino y grueso en diferentes moldes hasta que rebose el recipiente eliminando el material sobrante con una regla, se obtuvo como resultado el peso de la muestra entre el volumen del molde.

Tabla 11. *Peso unitario suelto (P.U.S) promedio del agregado grueso.*

| Descripción | Muestra N° | | |
|--|------------|---------|---------|
| | 01 | 02 | 03 |
| Peso molde (kg) | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| Altura molde (m). | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| Radio molde (m). | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| Vol. Molde (m ³). | 0.0106 | 0.0106 | 0.0106 |
| Muestra + peso molde (kg). | 18.45 | 18.71 | 18.74 |
| P.U.S (kg/m ³) | 1626.91 | 1651.43 | 1654.26 |
| Promedio de P.U.S (kg/m ³) | 1644.20 | | |

Fuente: elaboración propia.

Se obtuvo un peso unitario suelto promedio de 1644.20 kg/m³.

Tabla 12. *Peso unitario suelto (P.U.S) promedio del agregado fino.*

| Descripción | Muestra N° | | |
|---|------------|---------|---------|
| | 01 | 02 | 03 |
| Peso molde (kg) | 1.202 | 1.202 | 1.2 |
| Altura molde (m). | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| Radio molde (m). | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| Vol. molde (m ³). | 0.0106 | 0.0106 | 0.0106 |
| Muestra + peso molde (kg). | 19.372 | 19.443 | 19.322 |
| P.U. S= Peso unitario suelto (kg/m ³) | 1714.15 | 1720.85 | 1709.43 |
| P.U.S: Promedio (kg/m ³) | 1714.81 | | |

Fuente: elaboración propia.

Se obtuvo un peso unitario suelto promedio de 1714.81 kg/m³.

4.1.5. **Peso unitario compactado por apisonado de los agregados.**

Procedimiento de apisonado P.U.C: Para este ensayo se llenó 1/3 del molde con la muestra, y se apisona la capa del material con 25 golpes uniformemente con la varilla, luego se llenó 2/3 partes del molde volviendo apisonar la muestra. Finalmente se llenó el molde por completo y se apisona.

Tabla 13. *Peso unitario compactado (P.U.C) promedio del agregado grueso.*

| Descripción | Muestra N° | | |
|-------------------------------------|------------|---------|---------|
| | 01 | 02 | 03 |
| Peso molde (kg) | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| Altura molde (m). | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| Radio molde (m). | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| Vol. molde (m ³). | 0.0106 | 0.0106 | 0.0106 |
| Muestra + peso molde (kg). | 20.32 | 20.94 | 20.34 |
| P.U.C (kg/m ³) | 1803.77 | 1862.26 | 1805.66 |
| Promedio P.U.C (kg/m ³) | 1823.90 | | |

Fuente: elaboración propia.

Se obtuvo el peso unitario compactado promedio de 1823.90 kg/m³.

Tabla 14. *Peso unitario compactado (P.U.C) promedio del agregado fino.*

| Descripción | Muestra N° | | |
|--------------------------------------|------------|---------|---------|
| | 01 | 02 | 03 |
| Peso molde (kg) | 1.202 | 1.202 | 1.202 |
| Altura molde (m). | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| Radio molde (m). | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| Vol. molde (m ³). | 0.0106 | 0.0106 | 0.0106 |
| Muestra + peso molde (kg). | 21.276 | 21.350 | 21.291 |
| P.U.C (kg/m ³) | 1893.77 | 1900.75 | 1895.19 |
| P.U.C: Promedio (kg/m ³) | 1896.57 | | |

Fuente: elaboración propia.

Se obtuvo el peso unitario compactado promedio de 1896.57 kg/m³.

4.1.6. Humedad natural del agregado

Se obtuvo el promedio de los tres porcentajes de las muestras para ambos agregados, como se detalla en la tabla 15 y 16.

Tabla 15. *Porcentaje de humedad del agregado grueso.*

| Descripción | Muestra N° | | |
|----------------------------------|------------|--------|--------|
| | 01 | 02 | 03 |
| Peso de tara (gr) | 70.45 | 70.54 | 78.00 |
| Peso de muestra natural (gr) | 130.54 | 191.21 | 194.00 |
| Peso de muestra seca + tara (gr) | 200.00 | 260.14 | 270.04 |
| Humedad (%) | 0.76 | 0.85 | 1.02 |
| Humedad promedio (%) | 0.87 | | |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 16. Porcentaje de humedad del agregado fino.

| Descripción | Muestra N° | | |
|----------------------------------|------------|--------|--------|
| | 01 | 02 | 03 |
| Peso de tara (gr) | 70.45 | 73.74 | 74.15 |
| Peso de muestra natural (gr) | 142.96 | 140.67 | 139.26 |
| Peso de muestra seca + tara (gr) | 211.94 | 211.87 | 211.64 |
| Humedad (%) | 0.98 | 1.08 | 1.29 |
| Humedad Promedio (%) | 1.36 | | |

Fuente: elaboración propia.

4.1.7. Equivalente de arena.

Este ensayo se realizó según la normativa ASTM D-2419 y NTP 339.146, para este procedimiento primero se secó la arena en el horno eléctrico, luego se pasó por la malla N° 10 dicha muestra se llenó en una latita dosificada la cual se añade a una probeta graduada de 15 pulg. En dicha probeta también se añadió una solución floculante hasta 4 pulg de la probeta, luego se dejó en reposo durante 10 minutos, se agita la probeta por 1 minutos para eliminar el aire de las partículas finalmente se llenó con la solución hasta las 15 pulg se deja reposar 20 minutos luego se mide con la varilla cuanto se asienta la arena.

Tabla 17. Arena equivalente.

| Muestra | 01 | 02 | 03 |
|------------------|-------|-------|-------|
| Inicio | 10:30 | 10:45 | 10:55 |
| Término | 11:00 | 11:15 | 11:25 |
| Lectura total | 4.0 | 4.0 | 4.0 |
| Lectura de arena | 3.8 | 3.8 | 3.8 |
| Eq. Arena (%) | 95.0 | 95.0 | 95.0 |
| Eq. Arena (%) | 95.0 | | |

Fuente: elaboración propia.

Se obtuvo como resultado de arena equivalente un 95%, cumpliendo con lo que indica el manual de carreteras EG-2013, en la tabla 423-02 que debe ser 60% como mínimo.

4.1.8. Caras fracturadas en el agregado grueso

Este ensayo se realizó según la norma MTC E 210, donde se tamiza la muestra, se lavó la muestra para eliminar cualquier fino y luego se secó para su inspección.

Tabla 18. *Porcentaje con una cara fracturada.*

| Tamaño de muestra | | A (g) | B (g) | D (%) | E (C * D) |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|--------------|
| Pasante | Retenido | | | | |
| 1 / 1/2" | 1" | | | | |
| 1" | 3 / 4 " | 1500 | 184.0 | 27.20 | 3.34 |
| 3 / 4 " | 1/2" | 1200 | 204.0 | 35.90 | 6.10 |
| 1/2" | 3 / 8" | 300 | 75.0 | 36.90 | 9.23 |
| Total | | 3000 | 463.0 | 100.00 | 18.66 |

Fuente: elaboración propia.

El porcentaje con una cara fracturada fue de 18.66%.

Tabla 19. *Porcentaje con dos caras fracturadas.*

| Tamaño de muestra | | A (g). | B (g). | D (%). | E (C * D) |
|-------------------|----------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| Pasante | Retenido | | | | |
| 1 / 1/2" | 1" | | | | |
| 1" | 3 / 4 " | 1500 | 258.0 | 27.20 | 4.68 |
| 3 / 4 " | 1/2" | 1200 | 105.0 | 35.90 | 3.14 |
| 1/2" | 3 / 8" | 300 | 79.0 | 36.90 | 9.72 |
| | Total | 5000 | 2587.5 | 100.00 | 17.54 |

Fuente: elaboración propia.

El porcentaje con dos caras fracturadas fue de 17.54%.

Con una o más caras fracturadas resultó como porcentaje 36.2%.

4.1.9. Partículas achatadas y largas en agregado grueso.

Tabla 20. *Resultado de partículas achatadas y largas.*

| Tamiz | Ag. Grueso | | Partículas achatadas (%) | Partículas largas (%) | Partículas chatas y alargadas (%) |
|---------|-----------------|----------------|--------------------------------|--------------------------|--|
| | Retenido (%) | Pasante (%) | | | |
| 1 " | | 100.00 | | | |
| 3 / 4 " | 1.48 | 98.70 | 0.65 | 0.53 | 0.44 |
| 1 / 2 " | 39.20 | 59.60 | 0.59 | 0.53 | 0.46 |
| 3 / 8 " | 32.20 | 27.14 | 0.53 | 0.50 | 0.42 |
| 1 / 4 " | 30.70 | 9.31 | | | |
| Nº 04 | 26.80 | 0.34 | | | |
| | | Total: | 1.77 | 1.55 | 1.33 |

Fuente: elaboración propia.

4.1.10. Adherencia en bandeja.

Tabla 21. Resultado de adherencia en bandeja.

| DATOS | 01 | 02 |
|----------------------------------|------|-----|
| Cantidad de Muestra | 50 | 50 |
| Cantidad de cemento asfáltico ml | 100 | 100 |
| Temperatura del C.A(°C) | 140 | 140 |
| # de partículas recubiertas | 49 | 49 |
| # de partículas no recubiertas | 1 | 1 |
| Adherencia (%) | 98 | 98 |
| Adherencia promedio (%) | 98.0 | |

Fuente: elaboración propia.

4.1.11. Durabilidad de agregados mediante sulfato de magnesio.

Este ensayo se realizó al agregado grueso y fino tiene por objetivo determinar la resistencia a la desintegración de los agregados por medio de una solución de magnesio, durante un tiempo de 16 hr a 18 hr, los equipos, materiales, insumos y procedimiento para el ensayo está descrito en el manual de ensayo de materiales 2016, en la norma del MTC E 209.

Tabla 22. Durabilidad del agregado grueso por medio de sulfato.

| % Pasa | % Retenido | Peso antes del ensayo (gr) | Peso después del ensayo (gr) | Pérdidas corregidas (%) |
|--------|------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------|
| 1" | 3/4" | 1500.0 | 1356.0 | 1.25 |
| 3/4" | 1/2" | 1000.0 | 956.2 | 0.66 |
| 1/2" | 3/8" | 500.0 | 469.2 | 0.62 |
| 3/8" | Nº4 | 300.0 | 284.0 | 1.12 |
| | | | Total: | 3.65 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 23. Durabilidad del agregado fino por medio de sulfato.

| Pasa % | Retenido % | Peso antes del ensayo (gr) | Peso después del ensayo (gr) | pérdidas corregidas (%) |
|--------|------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------|
| 3/8" | Nº4 | 100.0 | 92.3 | 0.84 |
| Nº4 | Nº8 | 100.0 | 89.3 | 2.24 |
| Nº8 | Nº16 | 100.0 | 86.7 | 2.27 |
| Nº16 | Nº30 | 100.0 | 87.3 | 2.41 |
| Nº30 | Nº50 | 100.0 | 85.2 | 1.62 |
| Nº50 | Nº100 | | | 0.00 |
| Nº100 | | | | 0.00 |
| | | | Total | 9.38 |

Fuente: elaboración propia.

En las tablas 22 y 23 se determinó los resultados del ensayo, se obtuvo un porcentaje de durabilidad para el agregado grueso de 3.65 % y para el agregado fino de 9.38%. Se comparó con lo que requiere la norma como máximo un 18%, se consideró que el material cumple las especificaciones de calidad para ser utilizado en la mezcla asfáltica.

4.1.12. Desgaste abrasivo de los ángeles.

Se utilizó como muestra 5000 gr de material

Peso de muestra inicial $P_a = 5000.00$ gr

Peso de muestra seco lavada en el tamiz Nº 12 $P_b = 3947.00$ gr

Gradación tipo A = 12 esferas a 500 Rev.

$$\text{Desgaste}(\%) = \left(\frac{P_a - P_b}{P_a} \right) * 100$$

$$\text{Desgaste}(\%) = \left(\frac{5000 - 3947}{5000} \right) * 100$$

$$\text{Desgaste} = 21.1\%$$

Tabla 24. Resumen de resultados de la caracterización del agregado grueso.

| Descripción | Norma | Resultado | Requerimiento ≤ 3000 |
|---|------------|-------------|---------------------------|
| Peso específico (Kg/m ³) | ASTM C 127 | 2635 | - |
| Absorción (%) | MTC E 206 | 2.1 | 1.0% |
| Peso unitario suelto (Kg/m ³) | ASTM C 29 | 1644.20 | - |
| Peso unitario compactado (Kg/m ³) | ASTM C 29 | 1823 | - |
| Humedad (%) | ASTM C 566 | 0.87 | - |
| Caras fracturadas (%) | MTC E 210 | 18.66/17.54 | 85/50 |
| Partículas alargadas y chatas (%) | ASTM 4791 | 1.33 | 10% máx. |
| Adherencia en bandeja (%) | MTC E 517 | 98 | +95 |
| Durabilidad al sulfato de mg (%) | MTC E 209 | 3.65 | 18% máx. |
| Desgaste abrasivo (%) | MTC E 207 | 21.1 | 40% máx. |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 25. Resumen de resultados de la caracterización del agregado fino.

| Descripción | Norma | Resultado | Requerimiento ≤ 3000 |
|---|------------|-----------|---------------------------|
| Peso específico (Kg/m ³) | ASTM C 128 | 2516 | - |
| Absorción (%) | MTC E 205 | 3.1 | 0.5% máx. |
| Peso unitario suelto (Kg/m ³) | ASTM C 29 | 1714 | - |
| Peso unitario compactado (Kg/m ³) | ASTM C 29 | 1896 | - |
| Humedad (%) | ASTM C 566 | 1.12 | - |
| Arena equivalente (%) | MTC E 114 | 95 | 60 min. |
| Durabilidad al sulfato de mg (%) | MTC E 209 | 9.38 | - |

Fuente: elaboración propia.

4.2. Proporciones de materiales para el diseño de la mezcla asfáltica convencional y modificada.

4.2.1. Cantidad de materiales para el diseño de la mezcla patrón.

Se determinó las proporciones de los agregados y del asfalto para una briqueta de 1200 gr de peso, para el diseño de la mezcla convencional se utilizó un 45% de grava de $\frac{3}{4}$ ", un 55% de agregado fino y diferentes porcentajes de asfalto.

Tabla 26. *Proporciones de agregados y asfalto.*

| ASFALTO | | AGREGADOS | |
|----------------|---------------|-----------------------------------|----------------|
| Porcentaje (%) | Cantidad (gr) | Grava de $\frac{3}{4}$ " (gr) 45% | Arena (gr) 55% |
| 5.00% | 60 | 513.00 | 627.00 |
| 5.50% | 66 | 510.30 | 623.70 |
| 6.00% | 72 | 507.30 | 620.40 |
| 6.50% | 78 | 504.90 | 617.10 |
| 7.00% | 84 | 502.20 | 613.80 |
| 7.50% | 90 | 499.50 | 610.50 |
| 8.00% | 96 | 496.80 | 607.20 |

Fuente: elaboración propia.

Peso de la briqueta = 1200 gr

1200 gr=100%

CA=6.50%

$$CA = \frac{1200 * 6.5\%}{100\%}$$

CA = 78 gr

Peso de agregados=1200-78=1122 gr

1122gr=100%

Grava=45%

$$Grava = \frac{1122 * 45\%}{100\%}$$

Grava = 504.90gr

Arena=55%

$$Grava = \frac{1122 * 55\%}{100\%}$$

Grava = 617.10 gr

De la misma manera se realizó el cálculo para determinar las demás proporciones de los materiales.

4.2.2. Cantidad de materiales para el diseño de la mezcla modificada.

Para la fabricación de las briquetas modificadas se utilizó asfalto, escoria de acero y agregado grueso y fino, para obtener una briketa de peso 1200gr.

Tabla 27. *Proporciones de materiales.*

| Peso total de briketa: 1200 gr. | | | | |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------------|------------|
| % de Escoria | Escoria (gr) | 6% | 45.0% | 55.0% |
| | | Asfalto (gr) | Grava de 3/4" (gr) | Arena (gr) |
| 15.00% | 76.14 | 72 | 431.46 | 620.40 |
| 25.00% | 126.90 | 72 | 380.70 | 620.40 |
| 50.00% | 253.80 | 72 | 253.80 | 620.40 |
| 75.00% | 380.70 | 72 | 126.90 | 620.40 |

Fuente: elaboración propia.

4.3. Contenido óptimo de cemento asfáltico mediante el método Marshall.

Grado del asfalto que se utilizó para el diseño de la mezcla asfáltica convencional y modificada.

Tabla 28. *Selección del tipo de cemento asfáltico.*

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

Fuente: manual de carreteras – ETGC (2013).

La tabla 28, especifica los grados de asfalto que existen para las diferentes temperaturas. Nuestra tesis se desarrolló en la ciudad de Trujillo donde la temperatura varía entre 24°C y 15°C entonces se utilizó un asfalto de grado PEN 60/70.

Tabla 29. Especificaciones para mezcla de concreto bituminoso.

| PARÁMETROS DE DISEÑO | Clase de Mezcla | | |
|---|------------------|-------------|---------|
| | A | B | C |
| Marshall MTC E 504 | | | |
| 1.-Compactación, número de golpes por lado | 75 | 50 | 35 |
| 2.-Estabilidad (mínimo) | 8,15 KN | 5,44 KN | 4.53 KN |
| 3.-Flujo 0,01" (0.25 mm) | 8-14 | 8-16 | 8-20 |
| 4.-Porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica compactada (MTC E 505) | 3-5 | 3-5 | 3-5 |
| 5.-Vacíos en el agregado mineral | Ver Tabla 423-10 | | |
| Inmersión – Compresión (MTC E 518) | | | |
| 1.Resistencia a la compresión Mpa mín. | 2.1 | 2.1 | 1.4 |
| 2.Resistencia retenida % (mín.) | 75 | 75 | 75 |
| Relación Polvo - Asfalto | 0.6-1.3 | 0.6-1.3 | 0.6-1.3 |
| Relación estabilidad/flujo (kg/cm) | | 1.700-4.000 | |

Fuente: manual de carreteras – ETGC (2013).

Tabla 30. Porcentaje de vacíos mínimos en el agregado mineral

| Tamiz (mm) | Marshall |
|------------------|----------|
| 2.36 mm (N°8) | 21 |
| 4.75 mm (N°4) | 18 |
| 9.59 mm (3/8") | 16 |
| 12.5 mm (1/2") | 15 |
| 19.0 mm (3/4") | 14 |
| 25.0 mm (1") | 13 |
| 37.5 mm (1 1/2") | 12 |
| 50.0 mm (2") | 11.5 |

Fuente: manual de carreteras – ETGC (2013).

4.3.1. Diseño teórico del contenido óptimo de asfalto

$$P = 0.035 * a + 0.045 * b + K * c + F$$

Donde:

$$K = 0.15 * c, \text{ cuando } 11 - 15\% \text{ pasa tamiz N}^\circ 200$$

$$K = 0.18 * c, \text{ cuando } 6 - 10\% \text{ pasa tamiz N}^\circ 200$$

$$K = 0.2 * c, \text{ cuando } < 5\% \text{ pasa tamiz N}^\circ 200$$

P = % de asfalto en la mezcla

a = % de agregado retenido en el tamiz N° 8

b = % de agregado que pasa el tamiz N° 8 y es retenido en el N° 200

c = % de agregado que pasa el tamiz N° 200

F = está comprendido entre 0.7 y 1.0%

$$a = 69.19$$

$$b = 67.47$$

$$c = 1.79$$

$$F = 0.70$$

$$K = 0.2$$

$$P = 0.035 * 69.19 + 0.045 * 67.47 + 0.2 * 1.72 + 0.70$$

$$P = 6.5\%$$

Con el porcentaje de asfalto teórico, se realizó tres incrementos y tres disminuciones de 0.5% según la norma del MTC E-504, en los porcentajes 5%, 5.5%, 6%, **6.5%**, 7%, 7.5% y 8%.

Con las cantidades de agregados y asfalto se realizaron 4 briquetas por cada porcentaje de asfalto haciendo un total de 28 briquetas para la mezcla convencional.

Procedimiento que se siguió para elaborar las briquetas para el diseño patrón.

1. Se obtuvo la cantidad requerida de materiales según la dosificación que se muestra en la (tabla 26) para cada espécimen.
2. Se pesó los materiales requeridos para la fabricación de las briquetas.
3. Se calentó los materiales pétreos para eliminar la humedad, en otro recipiente se calienta el asfalto PEN 60/70 a una temperatura de 135°C a 160°C.
4. Se mezclan los agregados pétreos con el asfalto de forma homogénea.
5. Se compacto en un molde con un martillo con 50 golpes por cada cara para tránsito mediano.
6. Terminada la compactación la briqueta fue extraída del molde y se dejó enfriar a temperatura ambiente.
7. Se tomó tres pesos diferentes: Peso de aire (Ms), peso saturado superficie seca (Msss) y peso sumergido (Msum).
8. Se realizó el ensayo de estabilidad que está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla
9. El ensayo de fluencia mide la deformación, bajo carga que se produce en la mezcla.

10. Procedimiento para determinar la estabilidad y flujo: se calienta la probeta en agua a 60°C durante 30 minutos.
11. Se extrae la probeta del agua y se seca, luego se colocó en la máquina Marshall el cual mide la carga aplicada y la deformación.
12. Se aplica la carga a una velocidad de 51 mm hasta que la briqueta falle.
13. La carga de falla registra el valor de estabilidad Marshall y el dial de fluencia registra el flujo, en centésimas de pulgada.

Tabla 31. *Altura de las briquetas para el diseño convencional.*

| % de Asfalto | Altura de las Briquetas | | | |
|--------------|-------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | H ₁ (cm) | H ₂ (cm) | H ₃ (cm) | H ₄ (cm) |
| 5.00% | 6.51 | 6.82 | 6.68 | 6.82 |
| 5.50% | 6.60 | 6.93 | 6.66 | 6.93 |
| 6.00% | 6.76 | 6.73 | 6.58 | 6.62 |
| 6.50% | 6.98 | 6.58 | 6.46 | 6.57 |
| 7.00% | 6.49 | 6.84 | 6.63 | 6.68 |
| 7.50% | 6.81 | 6.48 | 6.85 | 6.72 |
| 8.00% | 6.85 | 6.83 | 6.92 | 6.83 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 32. *Gravedad promedio específica de bulk de la mezcla compactada.*

| % Asfalto | M _s | M _{SSS} | M _{SUM} | G (kg/m ³) | G _{mb} |
|--------------|----------------|------------------|------------------|------------------------|-----------------|
| 5.00% | 1150.00 | 1185.75 | 680.63 | 2276.63 | 2.277 |
| 5.50% | 1165.50 | 1186.25 | 676.00 | 2284.12 | 2.284 |
| 6.00% | 1153.50 | 1187.75 | 683.85 | 2289.28 | 2.289 |
| 6.50% | 1146.67 | 1190.00 | 688.53 | 2285.56 | 2.286 |
| 7.00% | 1167.33 | 1192.33 | 684.03 | 2277.28 | 2.277 |
| 7.50% | 1151.00 | 1192.33 | 685.53 | 2267.35 | 2.267 |
| 8.00% | 1144.67 | 1191.33 | 681.27 | 2249.64 | 2.250 |

Fuente: elaboración propia.

La gravedad específica saturada superficialmente se determinó mediante la siguiente fórmula.

$$G \left(\frac{Kg}{m^3} \right) = \left(\frac{M_s}{M_{SSS} - M_{sun}} \right) \times 1000$$

$$G \left(\frac{Kg}{m^3} \right) = \left(\frac{1146.67}{1190 - 688.53} \right) \times 1000$$

$$G_{mb} = 2285.56 \frac{kg}{m^3}$$

$$Gmb = 2.286 \frac{gr}{m^3}$$

El mismo procedimiento se utilizó para el cálculo del promedio de las demás briquetas, que se detalla en la (tabla 32).

4.3.2. Propiedades físico mecánicas de briquetas patrón en la dosificación de 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7%, 7.5% y 8% de asfalto.

Tabla 33. Resumen de resultados de diseño patrón Marshall con 5% de cemento asfáltico.

| # | Briquetas N° | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|--|---------|---------|---------|---------|
| 1 | % del asfalto en peso total de la mezcla | 5 | | | |
| 2 | % del agregado grueso (grava de ¾") | 45 | | | |
| 3 | % del agregado fino (arena) | 55 | | | |
| 4 | Gravedad específica bulk de agregado grueso (gr/cm³) | 2.635 | | | |
| 5 | Gravedad específica bulk de agregado grueso (gr/cm³) | 2.516 | | | |
| 6 | Altura de briquetas (cm) | 6.51 | 6.82 | 6.68 | 6.80 |
| 7 | Densidad real (kg/m³) | 2275.67 | 2270.72 | 2284.53 | 2275.60 |
| 8 | % de vacíos en la mezcla compactada (VTM) | 6.16 | 5.69 | 5.12 | 5.49 |
| 9 | % de vacíos en el agregado mineral VMA | 15.48 | 15.99 | 15.48 | 15.81 |
| 10 | % de vacíos llenos de asfalto VFA | 66.94 | 64.38 | 66.92 | 65.28 |
| 11 | Asfalto absorbido (Pba) | 0.37 | | | |
| 12 | % de asfalto efectivo (Pbe) | 4.65 | | | |
| 13 | Flujo (mm) | 3.57 | 3.51 | 4.61 | 4.71 |
| 14 | Estabilidad sin corregir (KN) | 3.81 | 3.25 | 3.19 | 4.69 |
| 15 | Factor de corrección | 0.94 | | | |
| 16 | Estabilidad corregida (KN) | 3.57 | 3.05 | 2.99 | 4.40 |
| 17 | Promedio de estabilidad corregida (KN) | 3.50 | | | |
| 18 | Promedio de flujo (mm) | 4.26 | | | |
| 19 | Promedio de % vacíos VTM | 5.615 | | | |
| 20 | Promedio de % vacíos VMA | 15.69 | | | |
| 21 | Promedio de densidad (kg/m³) | 2276.63 | | | |

Tabla 34. Resumen de resultados de diseño patrón Marshall con 5.5% de cemento asfáltico.

| # | Briquetas N° | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|---|---------|---------|---------|---------|
| 1 | % del asfalto en peso total de la mezcla | 5.5 | | | |
| 2 | % del agregado grueso (grava de ¾") | 45 | | | |
| 3 | % del agregado fino (arena) | 55 | | | |
| 4 | Gravedad específica bulk de agregado grueso (gr/cm ³) | 2.635 | | | |
| 5 | Gravedad específica bulk de agregado grueso (gr/cm ³) | 2.516 | | | |
| 6 | Altura de briquetas (cm) | 6.60 | 6.93 | 6.66 | 6.90 |
| 7 | Densidad real (kg/m ³) | 2288.62 | 2273.09 | 2296.01 | 2278.81 |
| 8 | % de vacíos en la mezcla compactada VTM | 4.27 | 4.94 | 3.98 | 4.69 |
| 9 | % de vacíos en el agregado mineral VMA | 15.77 | 16.36 | 15.52 | 16.14 |
| 10 | % de vacíos llenos de asfalto VFA | 72.90 | 69.79 | 74.34 | 70.93 |
| 11 | Asfalto absorbido (Pba) | 0.37 | | | |
| 12 | % de asfalto efectivo (Pbe) | 5.15 | | | |
| 13 | Flujo (mm) | 4.69 | 6.12 | 6.83 | 5.61 |
| 14 | Estabilidad sin corregir (KN) | 6.79 | 7.22 | 6.84 | 7.25 |
| 15 | Factor de corrección | 0.83 | 0.83 | 0.83 | 0.83 |
| 16 | Estabilidad corregida (KN) | 5.63 | 5.99 | 5.67 | 6.01 |
| 17 | Promedio de estabilidad corregida (KN) | 5.83 | | | |
| 18 | Promedio de flujo (mm) | 5.81 | | | |
| 19 | Promedio de % vacíos VTM | 4.47 | | | |
| 20 | Promedio de % vacíos VMA | 15.95 | | | |
| 21 | Promedio de densidad (kg/m³) | 2284.13 | | | |

Tabla 35. Resumen de resultados de diseño patrón Marshall con 6% de cemento asfáltico.

| # | Briquetas N° | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|---|---------|---------|---------|---------|
| 1 | % del asfalto en peso total de la mezcla | 6 | | | |
| 2 | % del agregado grueso (grava de ¾") | 45 | | | |
| 3 | % del agregado fino (arena) | 55 | | | |
| 4 | Gravedad específica bulk de agregado grueso (gr/cm ³) | 2.635 | | | |
| 5 | Gravedad específica bulk de agregado grueso (gr/cm ³) | 2.516 | | | |
| 6 | Altura de briquetas (cm) | 6.76 | 6.73 | 6.58 | 6.62 |
| 7 | Densidad real (kg/m ³) | 2293.84 | 2276.88 | 2302.88 | 2283.51 |
| 8 | % de vacíos en la mezcla compactada VTM | 3.39 | 4.10 | 3.01 | 3.81 |
| 9 | % de vacíos en el agregado mineral VMA | 16.04 | 16.65 | 15.71 | 16.40 |
| 10 | % de vacíos llenos de asfalto VFA | 78.87 | 75.36 | 80.84 | 76.77 |
| 11 | Asfalto absorbido (Pba) | 0.37 | | | |
| 12 | % de asfalto efectivo (Pbe) | 5.65 | | | |
| 13 | Flujo (mm) | 7.96 | 8.76 | 7.78 | 8.56 |
| 14 | Estabilidad sin corregir (KN) | 7.59 | 6.45 | 7.15 | 7.45 |
| 15 | Factor de corrección | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 16 | Estabilidad corregida (KN) | 7.61 | 6.47 | 7.17 | 7.47 |
| 17 | Promedio de estabilidad corregida (KN) | 7.18 | | | |
| 18 | Promedio de flujo (mm) | 8.26 | | | |
| 19 | Promedio de % vacíos VTM | 3.58 | | | |
| 20 | Promedio de % vacíos VMA | 16.21 | | | |
| 21 | Promedio de densidad (kg/m³) | 2289.28 | | | |

Tabla 36. Resumen de resultados de diseño patrón Marshall con 6.5% de cemento asfáltico.

| # | Briquetas N° | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|--|---------|---------|--------|---------|
| 1 | % del asfalto en peso total de la mezcla | 6.5 | | | |
| 2 | % del agregado grueso (grava de ¾") | 45 | | | |
| 3 | % del agregado fino (arena) | 55 | | | |
| 4 | Gravedad específica bulk de agregado grueso (gr/cm³) | 2.635 | | | |
| 5 | Gravedad específica bulk de agregado grueso (gr/cm³) | 2.516 | | | |
| 6 | Altura de briquetas (cm) | 6.98 | 6.58 | 6.46 | 6.57 |
| 7 | Densidad real (kg/m³) | 2284.85 | 2275.08 | 2299.9 | 2282.41 |
| 8 | % de vacíos en la mezcla compactada VTM | 3.09 | 3.52 | 2.46 | 3.22 |
| 9 | % de vacíos en el agregado mineral VMA | 16.81 | 17.17 | 16.26 | 16.92 |
| 10 | % de vacíos llenos de asfalto VFA | 81.59 | 79.52 | 84.89 | 80.96 |
| 11 | Asfalto absorbido (Pba) | 0.37 | | | |
| 12 | % de asfalto efectivo (Pbe) | 6.15 | | | |
| 13 | Flujo (mm) | 6.71 | 7.84 | 8.16 | 7.35 |
| 14 | Estabilidad sin corregir (KN) | 7.21 | 6.91 | 7.09 | 6.89 |
| 15 | Factor de corrección | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.97 |
| 16 | Estabilidad corregida (KN) | 6.96 | 6.67 | 6.85 | 6.65 |
| 17 | Promedio de estabilidad corregida (KN) | 6.78 | | | |
| 18 | Promedio de flujo (mm) | 7.52 | | | |
| 19 | Promedio de % vacíos VTM | 3.07 | | | |
| 20 | Promedio de % vacíos VMA | 16.79 | | | |
| 21 | Promedio de densidad (kg/m³) | 2285.56 | | | |

Tabla 37. Resumen de resultados de diseño patrón Marshall con 7% de cemento asfáltico.

| # | Briquetas N° | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|---|---------|---------|---------|---------|
| 1 | % del asfalto en peso total de la mezcla | 7 | | | |
| 2 | % del agregado grueso (grava de ¾") | 45 | | | |
| 3 | % del agregado fino (arena) | 55 | | | |
| 4 | Gravedad específica bulk de agregado grueso (gr/cm ³) | 2.635 | | | |
| 5 | Gravedad específica bulk de agregado grueso (gr/cm ³) | 2.516 | | | |
| 6 | Altura de briquetas (cm) | 6.49 | 6.84 | 6.63 | 6.68 |
| 7 | Densidad real (kg/m ³) | 2277.90 | 2269.70 | 2282.99 | 2278.53 |
| 8 | % de vacíos en la mezcla compactada VTM | 2.72 | 3.06 | 2.51 | 2.68 |
| 9 | % de vacíos en el agregado mineral VMA | 17.51 | 17.80 | 17.32 | 17.47 |
| 10 | % de vacíos llenos de asfalto VFA | 84.47 | 82.81 | 85.54 | 84.68 |
| 11 | Asfalto absorbido (Pba) | 0.37 | | | |
| 12 | % de asfalto efectivo (Pbe) | 6.65 | | | |
| 13 | Flujo (mm) | 8.16 | 7.42 | 7.44 | 7.02 |
| 14 | Estabilidad sin corregir (KN) | 4.82 | 4.69 | 4.96 | 4.53 |
| 15 | Factor de corrección | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 16 | Estabilidad corregida (KN) | 4.83 | 4.70 | 4.98 | 4.54 |
| 17 | Promedio de estabilidad corregida (KN) | 4.76 | | | |
| 18 | Promedio de flujo (mm) | 7.02 | | | |
| 19 | Promedio de % vacíos VTM | 2.74 | | | |
| 20 | Promedio de % vacíos VMA | 17.53 | | | |
| 21 | Promedio de densidad (kg/m³) | 2277.28 | | | |

Tabla 38. Resumen de resultados de diseño patrón Marshall con 7.5% de cemento asfáltico.

| # | Briquetas N° | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|---|---------|---------|---------|---------|
| 1 | % del asfalto en peso total de la mezcla | 7.5 | | | |
| 2 | % del agregado grueso (grava de ¾") | 45 | | | |
| 3 | % del agregado fino (arena) | 55 | | | |
| 4 | Gravedad específica bulk de agregado grueso (gr/cm ³) | 2.635 | | | |
| 5 | Gravedad específica bulk de agregado grueso (gr/cm ³) | 2.516 | | | |
| 6 | Altura de briquetas (cm) | 7.21 | 6.48 | 6.85 | 6.72 |
| 7 | Densidad real (kg/m ³) | 2268.99 | 2261.76 | 2269.14 | 2269.52 |
| 8 | % de vacíos en la mezcla compactada VTM | 2.43 | 2.74 | 2.43 | 2.39 |
| 9 | % de vacíos en el agregado mineral VMA | 18.27 | 18.53 | 18.28 | 18.24 |
| 10 | % de vacíos llenos de asfalto VFA | 86.68 | 85.24 | 86.67 | 86.89 |
| 11 | Asfalto absorbido (Pba) | 0.37 | | | |
| 12 | % de asfalto efectivo (Pbe) | 7.16 | | | |
| 13 | Flujo (mm) | 7.94 | 7.11 | 7.05 | 6.24 |
| 14 | Estabilidad sin corregir (KN) | 4.29 | 4.12 | 4.15 | 4.07 |
| 15 | Factor de corrección | 0.89 | 0.89 | 0.89 | 0.89 |
| 16 | Estabilidad corregida (KN) | 3.81 | 3.65 | 3.67 | 3.61 |
| 17 | Promedio de estabilidad corregida (KN) | 3.68 | | | |
| 18 | Promedio de flujo (mm) | 7.08 | | | |
| 19 | Promedio de % vacíos VTM | 2.49 | | | |
| 20 | Promedio de % vacíos VMA | 18.36 | | | |
| 21 | Promedio de densidad (kg/m³) | 2267.35 | | | |

Tabla 39. Resumen de resultados de diseño patrón Marshall con 8% de cemento asfáltico.

| # | Briquetas N° | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|---|---------|---------|---------|---------|
| 1 | % del asfalto en peso total de la mezcla | 8 | | | |
| 2 | % del agregado grueso (grava de ¾") | 45 | | | |
| 3 | % del agregado fino (arena) | 55 | | | |
| 4 | Gravedad específica bulk de agregado grueso (gr/cm ³) | 2.635 | | | |
| 5 | Gravedad específica bulk de agregado fino (gr/cm ³) | 2.516 | | | |
| 6 | Altura de briquetas (cm) | 6.85 | 6.83 | 6.92 | 6.83 |
| 7 | Densidad real (kg/m ³) | 2242.83 | 2249.12 | 2240.53 | 2266.01 |
| 8 | % de vacíos en la mezcla compactada VTM | 2.89 | 2.63 | 2.98 | 1.89 |
| 9 | % de vacíos en el agregado mineral VMA | 19.65 | 19.43 | 19.72 | 18.82 |
| 10 | % de vacíos llenos de asfalto VFA | 85.29 | 86.47 | 84.91 | 89.94 |
| 11 | Asfalto absorbido (Pba) | 0.37 | | | |
| 12 | % de asfalto efectivo (Pbe) | 7.66 | | | |
| 13 | Flujo (mm) | 7.18 | 6.29 | 6.26 | 5.28 |
| 14 | Estabilidad sin corregir (KN) | 3.97 | 3.53 | 3.24 | 2.56 |
| 15 | Factor de corrección | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 |
| 16 | Estabilidad corregida (KN) | 3.35 | 3.00 | 2.74 | 3.01 |
| 17 | Promedio de estabilidad corregida (KN) | 3.03 | | | |
| 18 | Promedio de flujo (mm). | 6.25 | | | |
| 19 | Promedio de % vacíos VTM | 2.60 | | | |
| 20 | Promedio de % vacíos VMA | 19.41 | | | |
| 21 | Promedio de densidad (kg/m³) | 2249.64 | | | |

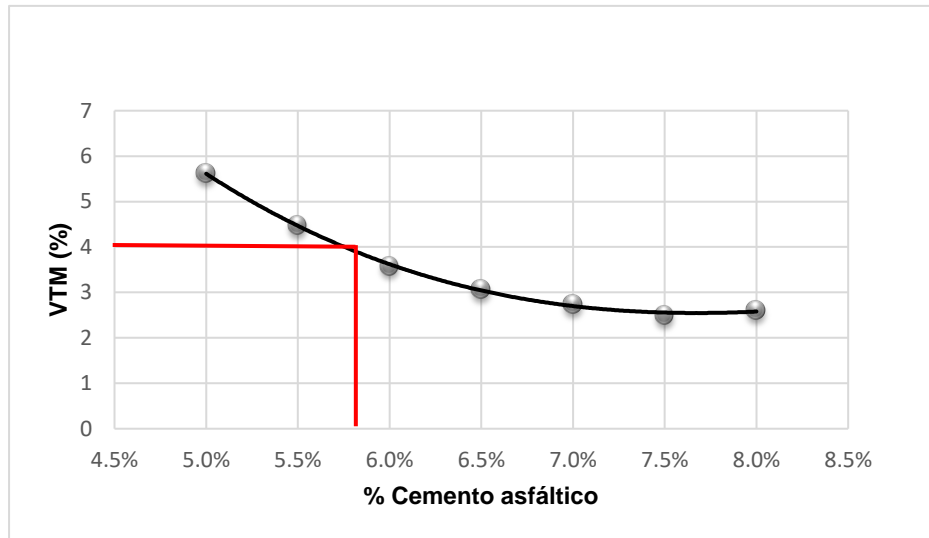


Figura 8. Porcentaje de asfalto vs. Porcentaje de vacíos en la mezcla.

| % de C. A | 5 | 5.5 | 6 | 6.5 | 7 | 7.5 | 8 |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| % Promedio de vacíos (VTM) | 5.62 | 4.47 | 3.58 | 3.07 | 2.74 | 2.49 | 2.60 |

Interpretación:

De acuerdo con el manual de especificaciones técnicas generales MTC EG-2013 en la sección 423 indica que el porcentaje de vacíos para una mezcla compactada varía entre 3-5, asimismo se consideró el promedio de 4 el cual se intercepta con la curva y se obtuvo un óptimo porcentaje de asfalto de 5.8%.

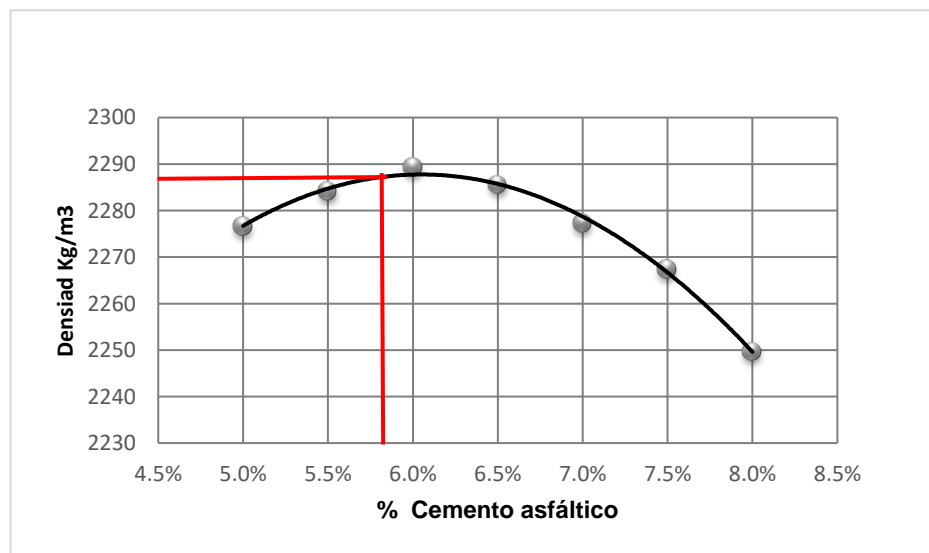


Figura 9. Densidad vs. Porcentaje de asfalto.

| | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| % de C. A | 5 | 5.5 | 6 | 6.5 | 7 | 7.5 | 8 |
| Densidad gr/cm ³ | 2.277 | 2.284 | 2.291 | 2.287 | 2.277 | 2.267 | 2.244 |

Interpretación:

De acuerdo con el gráfico la densidad aumentó hasta el 6% de asfalto, luego va disminuyendo conforme se aumento el contenido de asfalto. Se concluye que a mayor contenido de asfalto la densidad disminuye.

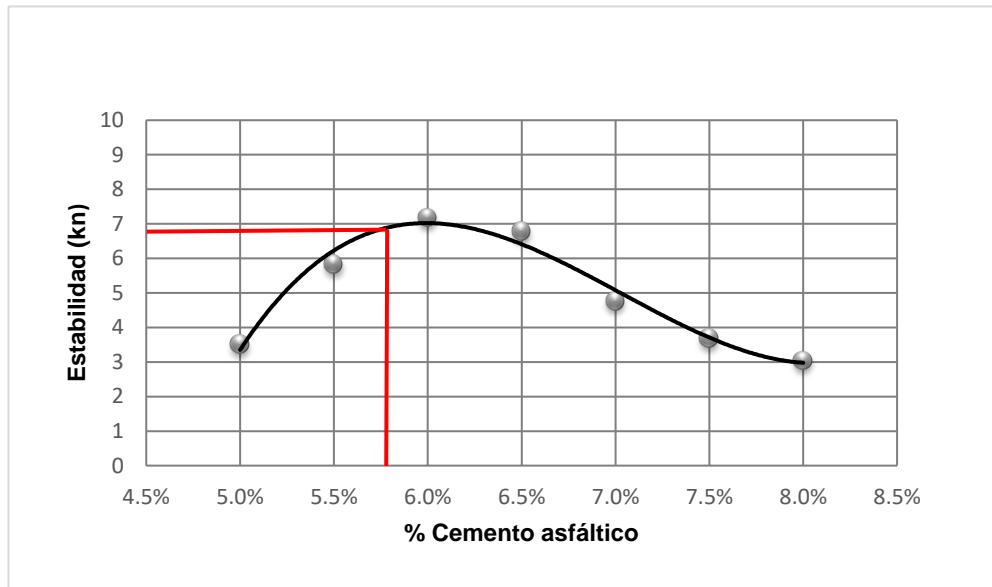


Figura 10. Porcentaje de asfalto vs. Estabilidad.

| | | | | | | | |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| % de C. A | 5 | 5.5 | 6 | 6.5 | 7 | 7.5 | 8 |
| Promedio de estabilidad (KN) | 3.50 | 5.83 | 7.18 | 6.78 | 4.76 | 3.68 | 3.03 |

Interpretación:

Con el óptimo de asfalto de 5.8% el cual con la ayuda de la línea horizontal se determinó una estabilidad de 6.9 KN, luego se comparó con el manual de especificaciones técnicas generales MTC EG-2013, indica la estabilidad para un tránsito mediano tiene que tener como mínimo 5.44 KN. Se concluye que cumple con el parámetro establecido por la norma.

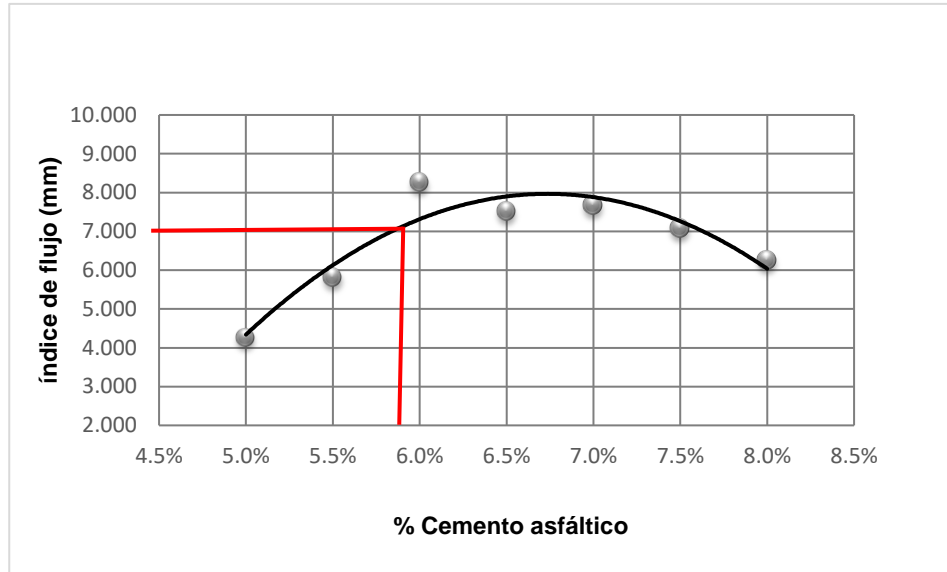


Figura 11. Porcentaje de asfalto vs. Flujo.

| % de C. A | 5 | 5.5 | 6 | 6.5 | 7 | 7.5 | 8 |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Promedio del flujo (mm) | 4.26 | 5.81 | 8.26 | 7.52 | 7.67 | 7.08 | 6.25 |

Interpretación:

Del gráfico de la figura 11, se obtuvo un flujo de 7 mm, de acuerdo con las especificaciones técnicas generales de MTC EG-2013 indica para un tránsito mediano debe variar entre 8-16, estando cerca del mínimo requerido.

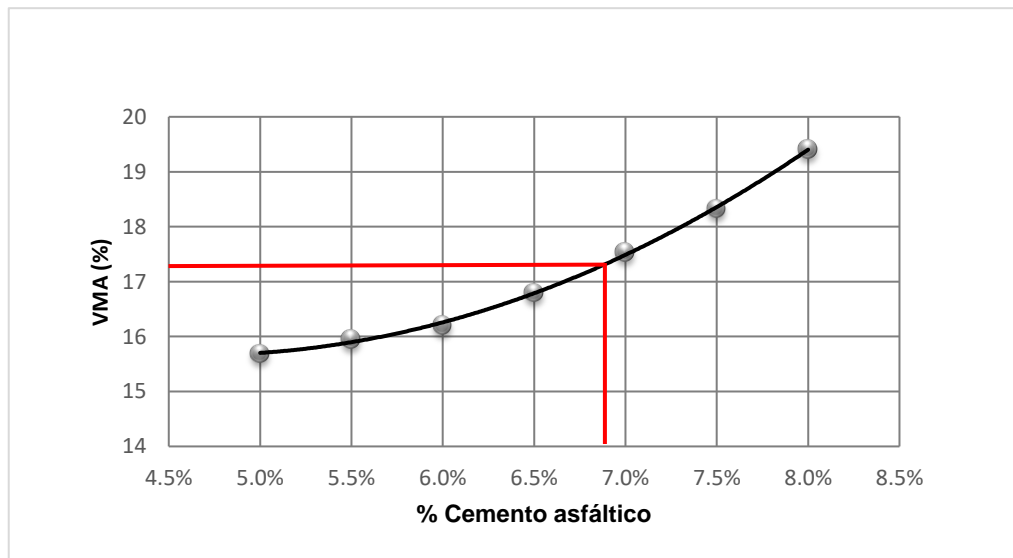


Figura 12. Porcentaje de asfalto vs. Vacíos en el agregado mineral.

| | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| % de C. A | 5 | 5.5 | 6 | 6.5 | 7 | 7.5 | 8 |
| % VMA | 15.69 | 15.95 | 16.20 | 16.79 | 17.53 | 18.33 | 19.41 |

Interpretación:

De la figura 12, indica que el porcentaje de vacíos en el agregado va aumentando conforme se incrementa el contenido de asfalto en la mezcla, el valor que se obtuvo fue de 17.40% comparando con el manual de especificaciones técnicas generales MTC EG-2013 indica el mínimo de vacíos en el agregado mineral para una mezcla densa debe estar entre 14-18% cumpliendo así con lo que especifica la norma.

Tabla 40. Resultados del ensayo Marshall de la mezcla convencional

| Propiedades físico mecánicas | Resultado |
|---------------------------------|-----------|
| Optimo contenido de asfalto (%) | 5.80 |
| Vacíos de aire en la mezcla (%) | 4.00 |
| Densidad (gr/cm ³) | 2.287 |
| Estabilidad (KN) | 6.80 |
| Flujo (mm) | 7.10 |
| VMA (%) | 17.40 |

4.4. Diseño Marshall de mezcla asfáltica modificada, utilizando 15%, 25%, 50% y 75% con escoria de acero

Para realizar este ensayo se utilizó el óptimo contenido de asfalto, el cual se determinó mediante el diseño de la mezcla asfáltica convencional, se realizaron 4 briquetas por cada porcentaje de escoria de acero que se incorporó a la mezcla para realizar el ensayo Marshall.

Tabla 41. Resultados de la mezcla modificada con 15% de escoria de acero

| # | Briquetas N° | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|---|---------|---------|---------|---------|
| 1 | % del asfalto en peso total de la mezcla | 6.0 | | | |
| 2 | % del agregado grueso (grava de ¾") | 45 | | | |
| 3 | % del agregado fino (arena) | 55 | | | |
| 4 | Gravedad específica bulk de agregado grueso (gr/cm ³) | 2.635 | | | |
| 5 | Gravedad específica bulk de agregado fino (gr/cm ³) | 2.516 | | | |
| 6 | Altura de briquetas (cm) | 6.94 | 6.73 | 6.72 | 6.75 |
| 7 | Densidad real (kg/m ³) | 2261.44 | 2271.02 | 2260.10 | 2261.25 |
| 8 | % de vacíos en la mezcla compactada VTM | 4.78 | 4.36 | 4.82 | 4.78 |
| 9 | % de vacíos en el agregado mineral VMA | 17.26 | 16.88 | 17.28 | 17.14 |
| 10 | % de vacíos llenos de asfalto VFA | 72.29 | 74.18 | 72.10 | 72.25 |
| 11 | Asfalto absorbido (Pba) | 0.37 | | | |
| 12 | % de asfalto efectivo (Pbe) | 5.65 | | | |
| 13 | Flujo (mm) | 14.04 | 14.93 | 14.69 | 14.68 |
| 14 | Estabilidad sin corregir (KN) | 7.29 | 7.18 | 7.27 | 7.69 |
| 15 | Factor de corrección | 0.89 | 0.89 | 0.89 | 0.89 |
| 16 | Estabilidad corregida (KN) | 6.45 | 6.36 | 6.47 | 6.81 |
| 17 | Promedio de estabilidad corregida (KN) | 6.52 | | | |
| 18 | Promedio de flujo (mm) | 14.58 | | | |
| 19 | Promedio de % vacíos VTM | 4.68 | | | |
| 20 | Promedio de % vacíos VMA | 17.16 | | | |
| 21 | Promedio de densidad (kg/m³) | 2263.45 | | | |

Tabla 42. Resultados de la mezcla modificada con 25% de escoria de acero

| # | Briquetas N° | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|---|---------|---------|---------|---------|
| 1 | % del asfalto en peso total de la mezcla | 6.0 | | | |
| 2 | % del agregado grueso (grava de ¾") | 45 | | | |
| 3 | % del agregado fino (arena) | 55 | | | |
| 5 | Gravedad específica bulk de agregado grueso (gr/cm ³) | 2.635 | | | |
| 6 | Gravedad específica bulk de agregado grueso (gr/cm ³) | 2.516 | | | |
| 7 | Altura de briquetas (cm) | 6.83 | 6.47 | 6.48 | 6.82 |
| 8 | Densidad real (kg/m ³) | 2269.51 | 2281.08 | 2275.70 | 2272.28 |
| 9 | % de vacíos en la mezcla compactada VTM | 4.40 | 3.94 | 4.15 | 4.32 |
| 10 | % de vacíos en el agregado mineral VMA | 16.91 | 16.51 | 16.69 | 16.84 |
| 11 | % de vacíos llenos de asfalto VFA | 73.99 | 76.16 | 75.15 | 74.38 |
| 12 | Asfalto absorbido (Pba) | 0.37 | | | |
| 13 | % de asfalto efectivo (Pbe) | 5.65 | | | |
| 14 | Flujo (mm) | 12.88 | 13.24 | 12.84 | 13.28 |
| 15 | Estabilidad sin corregir (KN) | 8.41 | 9.21 | 8.38 | 9.12 |
| 16 | Factor de corrección | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 |
| 17 | Estabilidad corregida (KN) | 7.89 | 8.64 | 7.86 | 8.56 |
| 18 | Promedio de estabilidad corregida (KN) | 8.24 | | | |
| 19 | Promedio de flujo (mm) | 13.06 | | | |
| 20 | Promedio de % vacíos VTM | 4.20 | | | |
| 21 | Promedio de % vacíos VMA | 16.74 | | | |
| 22 | Promedio de densidad (kg/m³) | 2274.64 | | | |

Tabla 43. Resultados de la mezcla modificada con 50% de escoria de acero

| # | Briquetas N° | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|---|---------|---------|---------|---------|
| 1 | % del asfalto en peso total de la mezcla | 6.0 | | | |
| 2 | % del agregado grueso (grava de ¾") | 45 | | | |
| 3 | % del agregado fino (arena) | 55 | | | |
| 4 | Gravedad específica bulk de agregado grueso (gr/cm ³) | 2.635 | | | |
| 5 | Gravedad específica bulk de agregado grueso (gr/cm ³) | 2.516 | | | |
| 6 | Altura de briquetas (cm) | 6.85 | 6.82 | 6.66 | 6.92 |
| 7 | Densidad real (kg/m ³) | 2283.57 | 2297.14 | 2294.36 | 2290.49 |
| 8 | % de vacíos en la mezcla compactada VTM | 3.81 | 3.26 | 3.39 | 3.56 |
| 9 | % de vacíos en el agregado mineral VMA | 16.40 | 15.93 | 16.04 | 16.20 |
| 10 | % de vacíos llenos de asfalto VFA | 76.77 | 79.52 | 78.87 | 78.02 |
| 11 | Asfalto absorbido (Pba) | 0.37 | | | |
| 12 | % de asfalto efectivo (Pbe) | 5.65 | | | |
| 13 | Flujo (mm) | 11.46 | 11.37 | 10.81 | 10.54 |
| 14 | Estabilidad sin corregir (KN) | 11.85 | 10.88 | 10.81 | 10.48 |
| 15 | Factor de corrección | 0.95 | 0.93 | 0.93 | 0.95 |
| 16 | Estabilidad corregida (KN) | 11.21 | 10.11 | 10.04 | 9.91 |
| 17 | Promedio de estabilidad corregida (KN) | 10.32 | | | |
| 18 | Promedio de flujo (mm) | 11.04 | | | |
| 19 | Promedio de % vacíos VTM | 3.50 | | | |
| 20 | Promedio de % vacíos VMA | 16.14 | | | |
| 21 | Promedio de densidad (kg/m³) | 2291.39 | | | |

Tabla 44. Resultados de la mezcla modificada con 75% de escoria de acero

| # | Briquetas N° | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|---|---------|---------|---------|---------|
| 1 | % del asfalto en peso total de la mezcla | 6.0 | | | |
| 2 | % del agregado grueso (grava de ¾") | 45 | | | |
| 3 | % del agregado fino (arena) | 55 | | | |
| 4 | Gravedad específica bulk de agregado grueso (gr/cm ³) | 2.635 | | | |
| 5 | Gravedad específica bulk de agregado grueso (gr/cm ³) | 2.516 | | | |
| 6 | Altura de briquetas (cm) | 6.73 | 6.63 | 6.57 | 6.65 |
| 7 | Densidad real (kg/m ³) | 2302.12 | 2301.99 | 2296.67 | 2301.68 |
| 8 | % de vacíos en la mezcla compactada VTM | 3.05 | 3.35 | 3.26 | 3.82 |
| 9 | % de vacíos en el agregado mineral VMA | 15.74 | 15.69 | 15.93 | 15.71 |
| 10 | % de vacíos llenos de asfalto VFA | 80.62 | 80.51 | 79.52 | 83.61 |
| 11 | Asfalto absorbido (Pba) | 0.37 | | | |
| 12 | % de asfalto efectivo (Pbe) | 5.65 | | | |
| 13 | Flujo (mm) | 9.69 | 10.18 | 9.54 | 9.72 |
| 14 | Estabilidad sin corregir (KN) | 13.59 | 11.75 | 12.57 | 12.55 |
| 15 | Factor de corrección | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 16 | Estabilidad corregida (KN) | 13.63 | 11.79 | 12.61 | 12.60 |
| 17 | Promedio de estabilidad corregida (KN) | 12.66 | | | |
| 18 | Promedio de flujo (mm) | 9.78 | | | |
| 19 | Promedio de % vacíos VTM | 3.37 | | | |
| 20 | Promedio de % vacíos VMA | | | | |
| 21 | Promedio de densidad (kg/m³) | 2300.61 | | | |

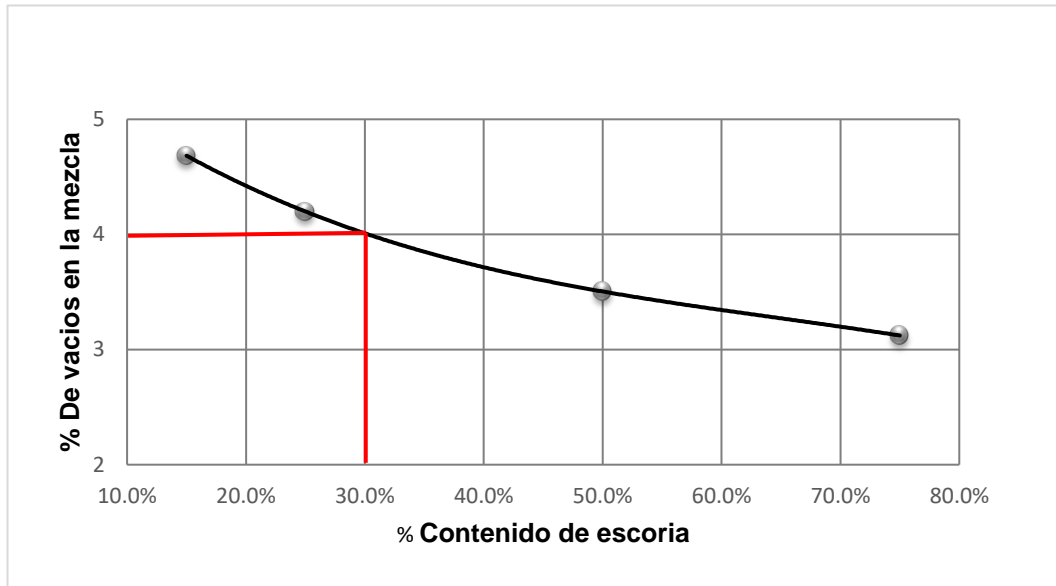


Figura 13. Porcentaje de escoria vs. Porcentaje de vacíos en la mezcla.

| | | | | |
|--------------------------|------|------|------|------|
| % de Escoria | 15 | 25 | 50 | 75 |
| % De vacíos en la mezcla | 4.68 | 4.20 | 3.50 | 3.12 |

Interpretación:

De acuerdo con el manual de especificaciones técnicas generales MTC EG-2013 en la sección 423 indica que el porcentaje de vacíos para una mezcla compactada varía de 3-5, asimismo se toma el promedio de 4% el cual se intercepta con la curva y registra un óptimo porcentaje de escoria de 30%.

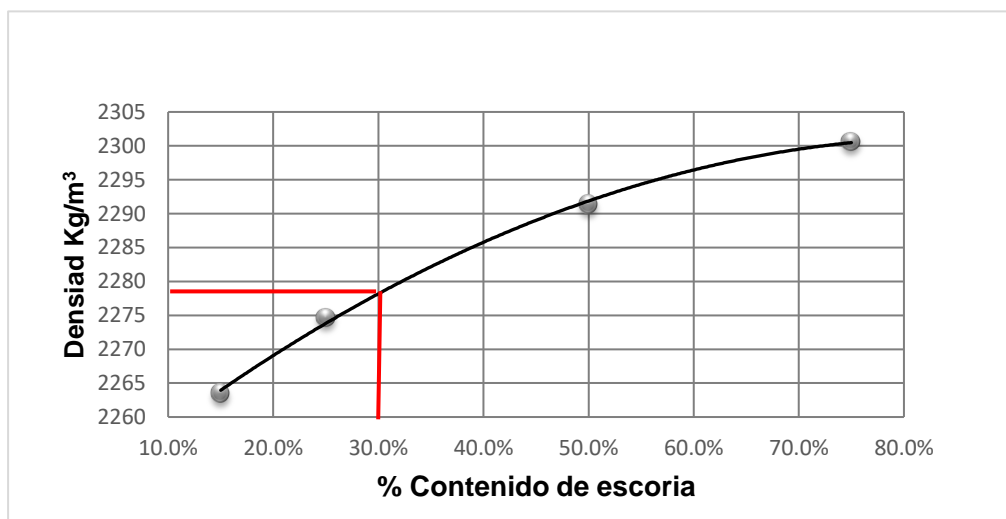


Figura 14. Porcentaje de escoria vs. Densidad.

| | | | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|
| % de Escoria | 15 | 25 | 50 | 75 |
| Densidad gr/cm ³ | 2.263 | 2.275 | 2.291 | 2.301 |

Interpretación:

De acuerdo a la figura 14, interceptando el óptimo porcentaje de escoria con la curva, presenta una densidad de 2.278 gr/cm³. La densidad aumenta de acuerdo a la cantidad de escoria de acero. Se concluye que a mayor cantidad de escoria la mezcla presenta mayor densidad.

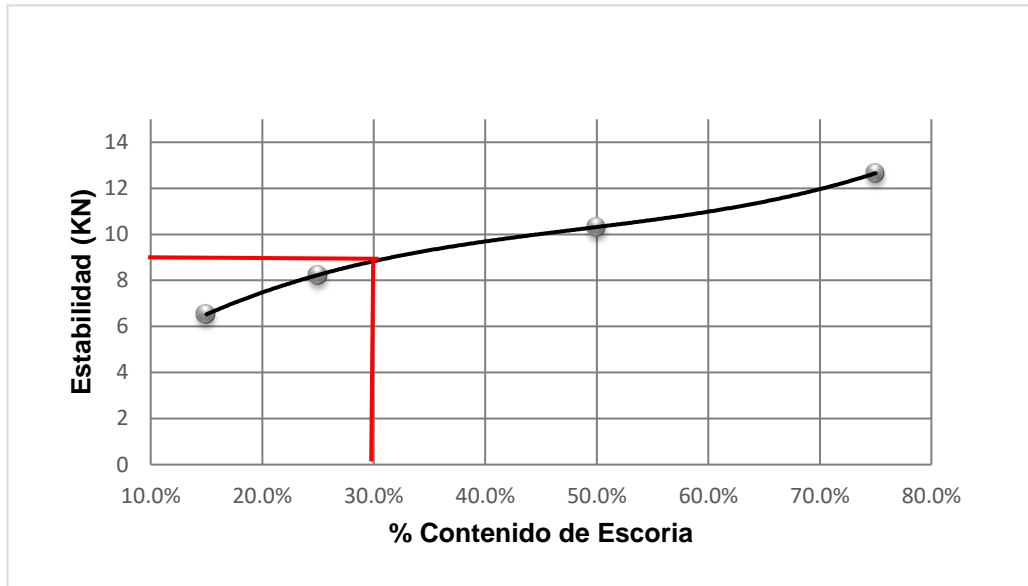


Figura 15. Porcentaje de escoria vs. Estabilidad.

| | | | | |
|------------------|------|------|-------|-------|
| % de Escoria | 15 | 25 | 50 | 75 |
| Estabilidad (KN) | 6.52 | 8.23 | 10.32 | 12.66 |

Interpretación:

La estabilidad que se obtuvo incorporando escoria de acero en la mezcla fue 9 KN, por lo tanto, es mayor que la estabilidad encontrada en la mezcla convencional que fue 6.8 KN. Se concluye que la escoria de acero mejora significativamente la mezcla asfáltica.

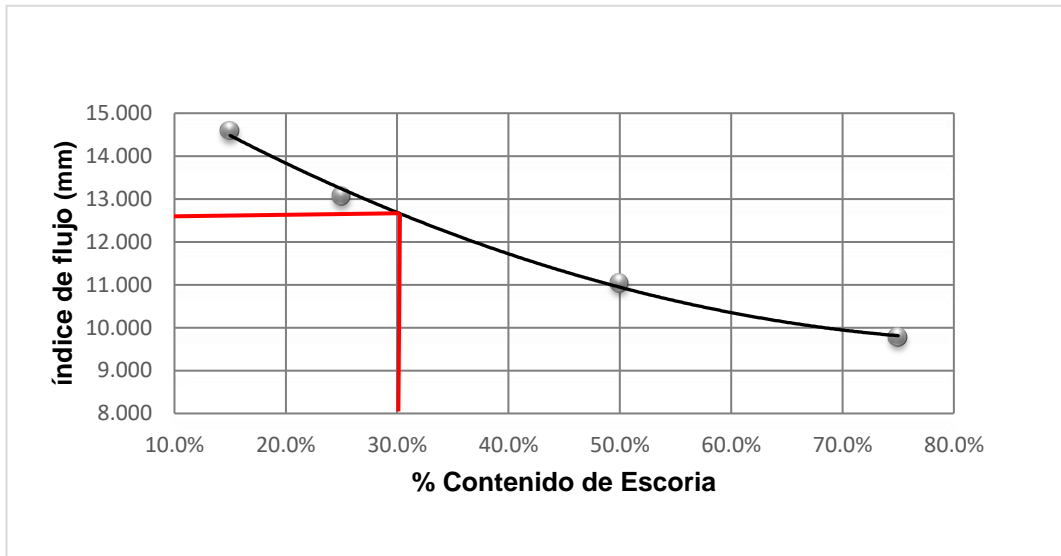


Figura 16. Porcentaje de escoria vs. Flujo.

| % de Escoria | 15 | 25 | 50 | 75 |
|--------------|-------|-------|-------|------|
| Flujo (mm) | 14.59 | 13.06 | 11.05 | 9.78 |

Interpretación:

Según la figura 16, el flujo Marshall en la mezcla modificada fue de 12.8 mm, cumpliendo con lo que indica el manual de especificaciones técnicas generales MTC EG-2013 en la sección 423 el flujo varía entre 8-16 mm, por lo tanto se concluye que el flujo disminuye a mayor cantidad de escoria de acero.

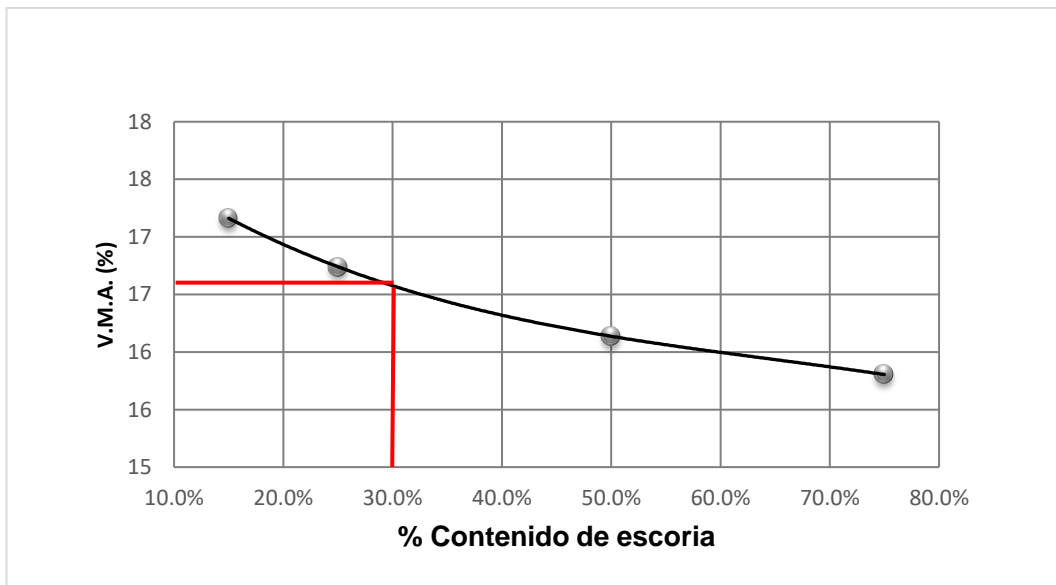


Figura 17. Porcentaje de escoria vs. Vacíos en el agregado mineral.

| | | | | |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| % de Escoria | 15 | 25 | 50 | 75 |
| % de vacíos en el agregado mineral | 17.16 | 16.74 | 16.14 | 15.80 |

Interpretación:

Según la figura 17, el porcentaje de vacíos en el agregado mineral disminuye a mayor cantidad de escoria, asimismo con 30% de escoria se obtuvo un porcentaje de vacíos en el agregado mineral de 17.1%. Se cumple con lo que especifica el MTC EG-2013 los vacíos en el agregado mineral deben estar entre 14-18%.

Tabla 45. Resultados del ensayo Marshall mezcla modificada

| Propiedades físico mecánicas | Resultado |
|--|-----------|
| Optimo contenido de asfalto (%) | 6.00 |
| Vacíos de aire en la mezcla (%) | 4.00 |
| Densidad (gr/cm ³) | 2.278 |
| Optimo contenido de escoria de acero (%) | 30.00 |
| Estabilidad (KN) | 9.00 |
| Flujo (mm) | 12.80 |
| VMA (%) | 17.10 |

4.5. Comparación de la mezcla asfáltica convencional con la modificada.

Tabla 46. Resultados de las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla convencional y modificada

| Marshall | Convencional | Modificado | Especificación |
|--|--------------|------------|----------------|
| Optimo contenido de asfalto (%) | 5.80 | 6.00 | N/A |
| Vacíos de aire en la mezcla (%) | 4.00 | 4.00 | 3-5 |
| Densidad (gr/cm ³) | 2.287 | 2.278 | N/A |
| Optimo contenido de escoria de acero (%) | - | 30 | N/A |
| Estabilidad (KN) | 6.80 | 9.00 | 5.44 min. |
| Flujo (mm) | 7.10 | 12.80 | 8-16 |
| VMA (%) | 17.40 | 17.10 | 14-18 |

Fuente: elaboración propia.

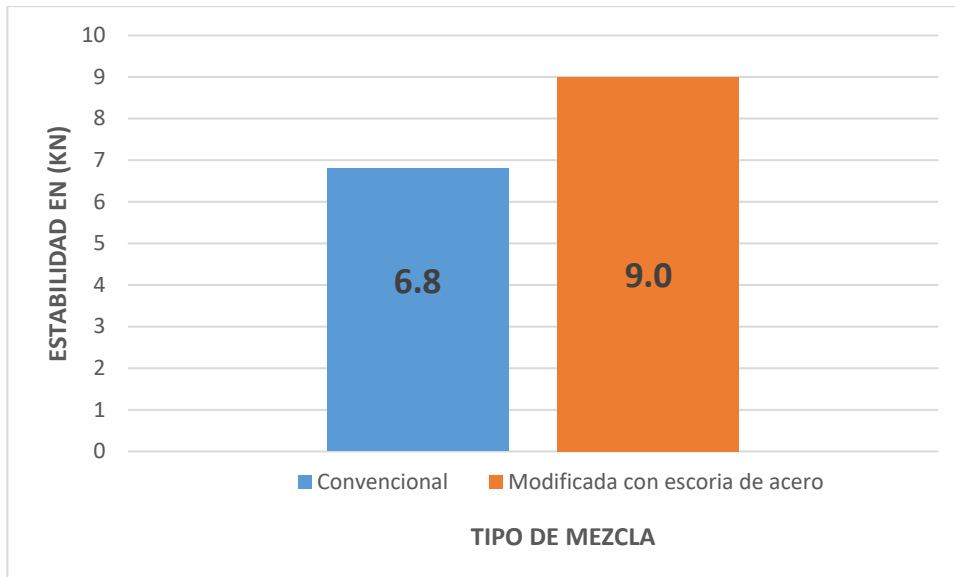


Figura 18. Estabilidad vs. Tipo de mezcla.

Interpretación:

Se muestra en la figura 18, un incremento de estabilidad en la mezcla asfáltica modificada con escoria de acero, incrementando en 32.35% respecto a la mezcla asfáltica convencional, lo cual indica que al incorporar escoria de acero mejora la resistencia para evitar deformaciones en el pavimento.

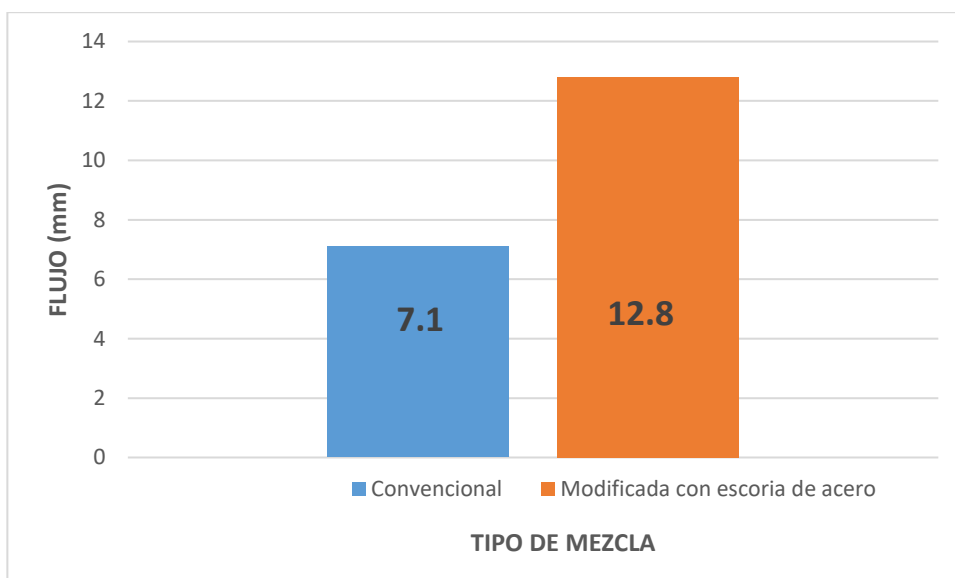


Figura 19. Flujo vs. Tipo de mezcla.

Interpretación:

En la figura 19, se observa que la mezcla modificada con escoria de acero incrementa en 80.28% respecto a la mezcla convencional, está dentro del parámetro que especifica el manual de especificaciones generales MTC EG 2013 indica que debe estar entre 8-16 mm para un tránsito mediano.

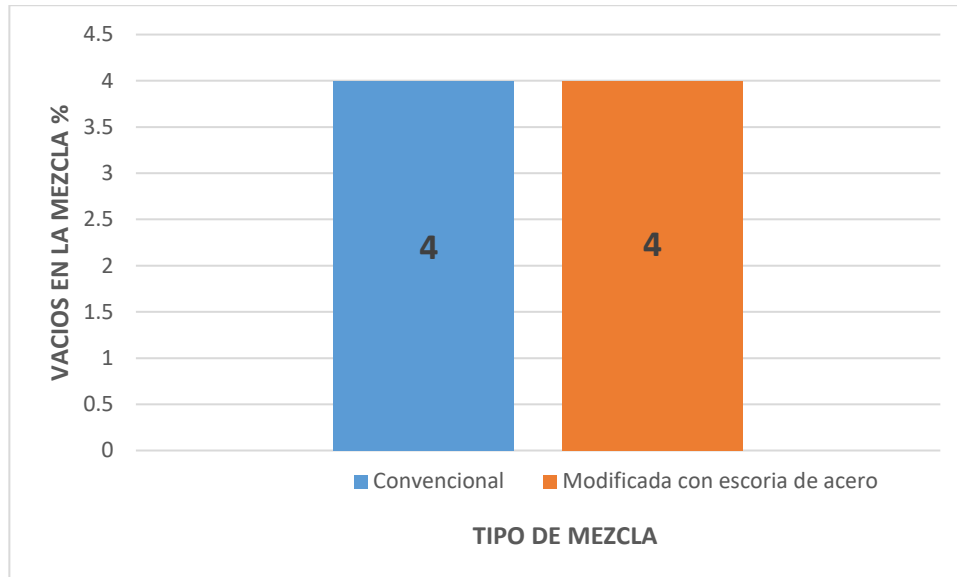


Figura 20. Porcentaje de vacíos vs. Tipo de mezcla.

Interpretación:

En la figura 20, se observa que la mezcla modificada y convencional tienen un adecuado porcentaje de vacío. El porcentaje de vacíos de una mezcla según el manual de especificaciones generales MTC EG-2013 debe estar entre 3-5%, siendo el promedio el más adecuado 4%, asimismo si la mezcla tiene menos de 3% de vacíos la mezcla se ablanda y tiene poca resistencia por otro lado, si el porcentaje de vacíos es mayor a 5% el pavimento se vuelve quebradizo.

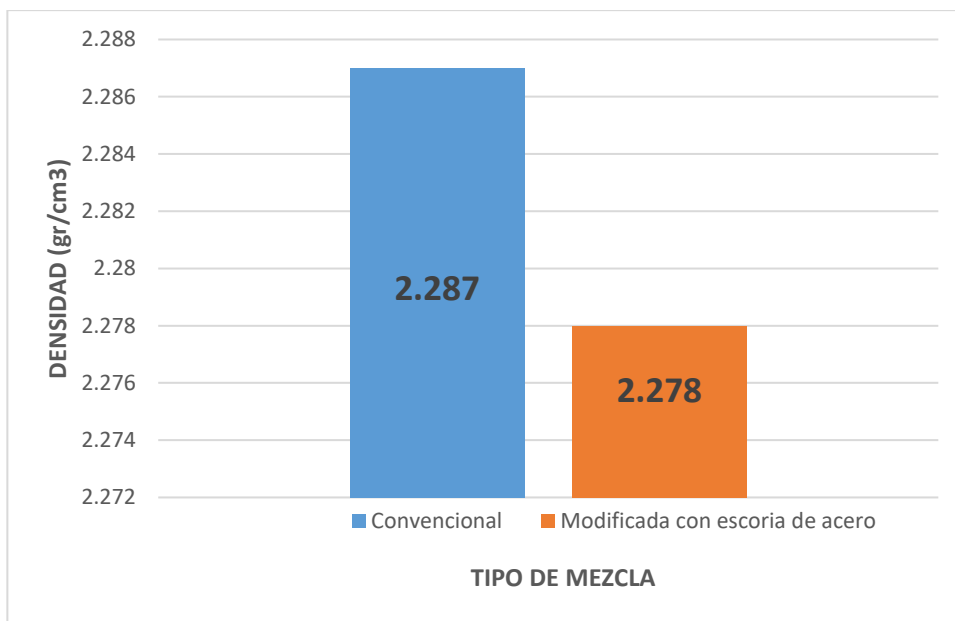


Figura 21. Densidad vs. Tipo de mezcla.

Interpretación:

En la figura 21, en la mezcla modificada con escoria de acero se observa que la densidad ha disminuido en un 0.4% respecto a la mezcla convencional, por lo que no hay una diferencia significativa, no tendría un efecto en el rendimiento duradero de la mezcla.

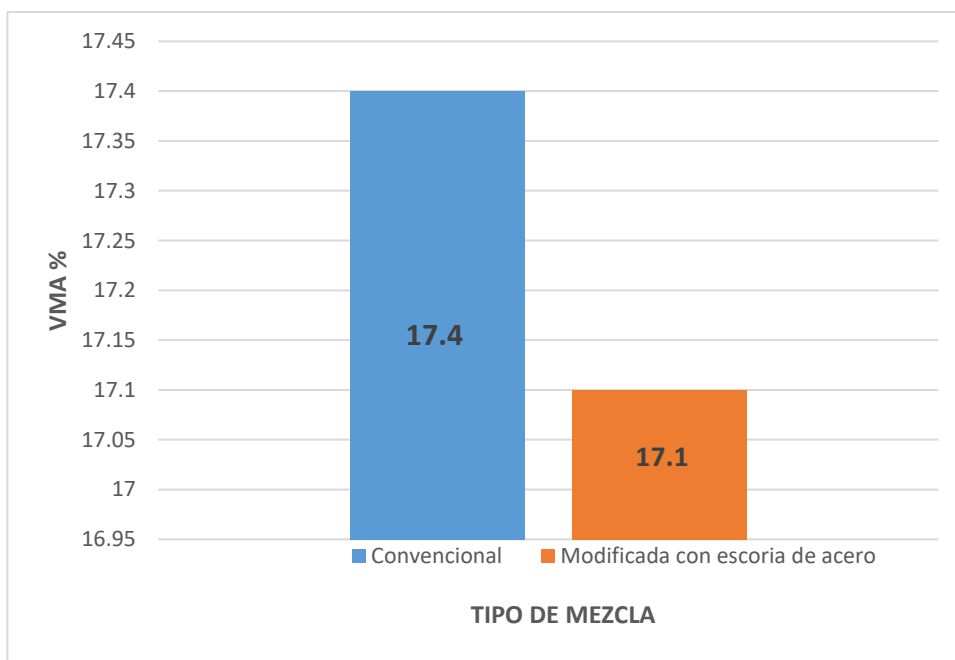


Figura 22. Vacíos en el agregado mineral vs. Tipo de mezcla.

Interpretación.

Se aprecia en la figura 22, que existe una pequeña disminución en un 1.72% de vacíos en el agregado mineral con respecto a la mezcla convencional, según el manual de especificaciones generales MTC EG 2013 indica que el porcentaje de VMA debe de estar entre 14 y 18% según el tamaño del agregado mineral.

4.5.1 Resultados estadísticos para la estabilidad Marshall.

Tabla 47. Estadística para el grupo control y experimentales.

| | Media | Desviación estándar | Coefficiente de variación % |
|----------|-------|---------------------|-----------------------------|
| GCEST | 7.18 | 0.507 | 7.07 |
| GE1EST15 | 6.52 | 0.197 | 3.27 |
| GE2EST25 | 8.24 | 0.420 | 5.09 |
| GE3EST50 | 10.28 | 0.630 | 6.13 |
| GE4EST75 | 12.66 | 0.750 | 5.95 |

Tabla 48. Pruebas de normalidad.

| | Shapiro-Wilk | | |
|----------|--------------|-----|-------|
| | Estadístico | gol | Sig. |
| GCEST | 0.898 | 4 | 0.422 |
| GE1EST15 | 0.818 | 4 | 0.139 |
| GE2EST25 | 0.792 | 4 | 0.089 |
| GE3EST50 | 0.806 | 4 | 0.113 |
| GE4EST75 | 0.941 | 4 | 0.660 |

Los datos obtenidos en la tabla 48 cumplen con la normalidad de Shapiro-Wilk con una (sig. > 0.05), como siguiente paso se utilizó la técnica estadística paramétrica análisis de varianza ANOVA.

Tabla 49. Análisis de varianza ANOVA.

| | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|------------------|-------------------|----|------------------|--------|--------------|
| Entre grupos | 100.574 | 4 | 25.143 | 89.672 | 0.000 |
| Dentro de grupos | 4.206 | 15 | 0.280 | | |
| Total | 104.780 | 19 | | | |

Dado que la significancia estadística es Sig < 0.05 (tabla 49), asimismo existe diferencia significativa de por lo menos dos grupos analizados. En la (tabla 50) se analizó la comparación del grupo control con los grupos experimentales se determinó qué grupo experimental presenta mejor estabilidad con respecto al control según la prueba de Tukey.

Tabla 50. Prueba de comparación múltiple Tukey.

| (I). Grupo patrón | (J). Grupo experimental | Diferencia de medias (I-J) | Desv. Error | Sig. | Confianza al 95% | |
|-------------------|-------------------------|----------------------------|-------------|--------------|------------------|------------|
| | | | | | Límite Inf. | Límite Sup |
| GCESTAB | GE1ESTAB15 | 0.65750 | 0.37443 | 0.432 | -0.4987 | 1.8137 |
| | GE2ESTAB25 | -1.05750 | 0.37443 | 0.081 | -2.2137 | -0.0987 |
| | GE3ESTAB50 | -3.13750 | 0.37443 | 0.000 | -4.2937 | -1.9813 |
| | GE4ESTAB75 | -5.47750 | 0.37443 | 0.000 | -6.6337 | -4.3213 |

Nota. La diferencia de medias es significativa en 0.05.

4.5.2 Resultados estadísticos para el flujo Marshall.

Tabla 51. Estadística grupos control y experimentales.

| | Media | Desviación estándar | Coefficiente de variación % |
|------------|-------|---------------------|-----------------------------|
| GCFLUJO | 8.27 | 0.47 | 5.68 |
| GE1FLUJO15 | 14.58 | 0.38 | 2.61 |
| GE2FLUJO25 | 13.06 | 0.23 | 1.76 |
| GE3FLUJO50 | 11.05 | 0.44 | 3.98 |
| GE4FLUJO75 | 9.78 | 0.28 | 2.86 |

Tabla 52. Pruebas de normalidad.

| | Shapiro-Wilk | | |
|------------|--------------|----|-------|
| | Estadístico | gl | Sig. |
| GCFLUJO | 0.906 | 4 | 0.460 |
| GE1FLUJO15 | 0.871 | 4 | 0.301 |
| GE2FLUJO25 | 0.812 | 4 | 0.126 |
| GE3FLUJO50 | 0.895 | 4 | 0.406 |
| GE4FLUJO75 | 0.863 | 4 | 0.271 |

Los datos obtenidos en la tabla 52 cumplen con la normalidad de Shapiro-Wilk con una (sig. > 0.05), como siguiente paso se utilizó la técnica estadística paramétrica análisis de varianza ANOVA.

Tabla 53. Análisis de varianza ANOVA.

| | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|------------------|-------------------|----|------------------|---------|--------------|
| Entre grupos | 101.762 | 4 | 25.440 | 184.035 | 0.000 |
| Dentro de grupos | 2.074 | 15 | 0.138 | | |
| Total | 103.835 | 19 | | | |

Dado que la significancia estadística es $\text{Sig} < 0.05$ (tabla 53), asimismo existe diferencia significativa de por lo menos dos grupos analizados. En la (tabla 54) se analizó la comparación del grupo control con los grupos experimentales se determinó qué grupo experimental presenta mejor estabilidad con respecto al control según la prueba de Tukey.

Tabla 54. Prueba de comparación múltiple Tukey.

| (I). Grupo patrón | (J). Grupo experimental | Diferencia de medias (I-J) | Desv. Error | Sig. | Confianza al 95% | |
|-------------------|-------------------------|----------------------------|-------------|--------------|------------------|------------|
| | | | | | Límite Inf. | Límite Sup |
| GCFLUJO | GE1FLUJO15 | -6.31750 | 0.26290 | 0.000 | -7.1293 | -5.5057 |
| | GE2FLUJO25 | -4.79500 | 0.26290 | 0.000 | -5.6068 | -3.9832 |
| | GE3FLUJO50 | -2.78000 | 0.26290 | 0.000 | -3.5918 | -1.9682 |
| | GE4FLUJO75 | -1.51750 | 0.26290 | 0.000 | -2.3293 | -0.7057 |

Nota. La diferencia de medias es significativa en 0.05.

4.5.3 Resultados estadísticos para la densidad Marshall.

Tabla 55. Estadística de densidad para el grupo control y experimentales.

| | Media | Desviación estándar | Coefficiente de variación % |
|-----------|-------|---------------------|-----------------------------|
| GCDENS | 2.29 | 0.114 | 4.98 |
| GE1DENS15 | 2.26 | 0.005 | 0.22 |
| GE2DENS25 | 2.27 | 0.004 | 0.18 |
| GE3DENS50 | 2.29 | 0.006 | 0.26 |
| GE4DENS75 | 2.30 | 0.002 | 0.09 |

Tabla 56. Pruebas de normalidad.

| | Shapiro-Wilk | | |
|----------|--------------|----|--------------|
| | Estadístico | gl | Sig. |
| GCDEN | 0.185 | 4 | 0.906 |
| GE1DEN15 | 0.418 | 4 | 0.014 |
| GE2DEN25 | 0.214 | 4 | 0.755 |
| GE3DEN50 | 0.188 | 4 | 0.858 |
| GE4DEN75 | 0.250 | 4 | 0.577 |

Los datos obtenidos en la tabla 48 no cumplen con la normalidad de Shapiro-Wilk, tiene una sig. $0.014 < 0.05$, como siguiente paso se utilizó la técnica estadística no paramétrica Kruskal-Wallis para la comparación de grupos.

Tabla 57. Comparación de grupos analizados con estadística de prueba de Kruskal-Wallis.

| | |
|---------------------|--------------|
| | Totales |
| H de Kruskal-Wallis | 15.500 |
| Gl | 4 |
| Sig. Asintótica | 0.004 |

Se obtuvo una Sig: $0.004 < 0.05$, entonces existe una diferencia en al menos dos de los grupos analizados. Luego se analizó el grupo control con cada grupo experimental tabla 58.

Tabla 58. Comparación del grupo control con los cuatro grupos experimentales mediante la U de Mann-Whitney.

| | GCDEN Vs GE1DEN15 | GCDEN Vs GE2DEN25 | GCDEN Vs GE3DEN50 | GCDEN Vs GE4DEN75 |
|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| U de Mann-Whitney | 0.000 | 1.000 | 7.000 | 4.000 |
| Sig. Asintótica (bilateral) | 0.020 | 0.043 | 0.770 | 0.248 |

En la tabla 58, existe diferencia significativa Sig. < 0.01 entre el grupo control GCDEN y dos grupos experimentales GE2DEN15 y GE2DEN25.

4.5.3 Resultados estadísticos para la densidad Marshall.

Tabla 59. Estadística de densidad para el grupo control y experimentales.

| | Media | Desviación estándar | Coefficiente de variación % |
|----------|-------|---------------------|-----------------------------|
| GCVAC | 3.58 | 0.478 | 13.35 |
| GE1VAC15 | 4.68 | 0.217 | 4.64 |
| GE2VAC25 | 4.20 | 0.204 | 4.86 |
| GE3VAC50 | 3.51 | 0.238 | 6.78 |
| GE4VAC75 | 3.37 | 0.325 | 9.64 |

Tabla 60. Pruebas de normalidad.

| | Shapiro-Wilk | | |
|----------|--------------|----|--------------|
| | Estadístico | gl | Sig. |
| GCVAC | 0.980 | 4 | 0.903 |
| GE1VAC15 | 0.704 | 4 | 0.013 |
| GE2VAC25 | 0.953 | 4 | 0.735 |
| GE3VAC50 | 0.975 | 4 | 0.872 |
| GE4VAC75 | 0.933 | 4 | 0.612 |

Shapiro-Wilk, tiene una sig.0.013 < 0.05, como siguiente paso se utilizó la técnica estadística no paramétrica Kruskal-Wallis para la comparación de grupos.

Tabla 61. Comparación de grupos analizados con estadística de prueba de Kruskal-Wallis.

| | |
|---------------------|--------------|
| | Totales |
| H de Kruskal-Wallis | 14.268 |
| Gl | 4 |
| Sig. Asintótica | 0.006 |

Se obtuvo una Sig: 0.006 < 0.05, entonces existe una diferencia en al menos dos de los grupos analizados. Luego se analizó el grupo control con cada grupo experimental tabla 62.

Tabla 62. Comparación del grupo control con los cuatro grupos experimentales mediante la U de Mann-Whitney.

| | GCVAC Vs GE1VAC15 | GCVAC Vs GE2VAC25 | GCVAC Vs GE3VAC50 | GCVAC Vs GE4VAC75 |
|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| U de Mann-Whitney | 0.000 | 1.000 | 7.000 | 6.000 |
| Sig. Asintótica (bilateral) | 0.020 | 0.043 | 0.770 | 0.564 |

En la tabla 62, existe diferencia significativa Sig. < 0.05 entre el grupo control GCVAC y dos grupos experimentales GE2VAC15 y GE2VAC25.

V. DISCUSIÓN

En la caracterización de los agregados en el ensayo de equivalente de arena se obtuvo un 95%, este resultado es mayor al obtenido por Quipusco y Villegas (2019), determinaron un valor de 66.8% para el ensayo de arena equivalente, según el manual de ensayos de materiales MTC-2016 requiere como mínimo 60%. Nuestro resultado es mayor al que especifica la norma esto se debe a la buena calidad de agregados que presenta la cantera el Milagro de la cual provienen las muestras.

En el ensayo de desgaste abrasivo se obtuvo un 21.1% este resultado es mayor al encontrado por Quipusco y Villegas (2019), el cual determinó un valor de 16.4%, según el manual de ensayos de materiales MTC-2016 requiere como máximo 40%. El agregado grueso presenta una adecuada resistencia al desgaste por carga abrasiva.

En el ensayo de adherencia en bandeja se obtuvo un 98% este resultado es mayor al encontrado por Quipusco y Villegas (2019), el cual determinó un valor de 95%, según el manual de ensayos de materiales MTC-2016 requiere como mínimo 95%. La mezcla tendrá mayor adherencia con los agregados pétreos haciendo una mezcla con menor cantidad de vacíos.

Para el diseño de la mezcla asfáltica convencional se emplearon proporciones de agregados: arena 55%, grava de $\frac{3}{4}$ " 45% y porcentajes de asfalto 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 7.5 y 8% en peso de la briqueta se fabricó 28 especímenes, asimismo para el diseño de mezcla modificada se utilizó arena 55%, grava $\frac{3}{4}$ " 45% ,escoria de acero 15%, 25%, 50%, 75% en reemplazo del peso de la grava y un 6% de asfalto se fabricó 16 briquetas de 1200 gr, también se realizó la granulometría a la combinación de agregados la cual presenta una gradación MAC-2, este diseño de mezclas es similar al determinado por Pérez (2018), donde realizó tres clases de mezclas modificadas con diferentes porcentajes: arena natural 50%, escoria metalúrgica 10% y grava triturada 40%; con 47% de arena natural, 15% de escoria metalúrgica y 38% de grava triturada; con 50% de arena natural, 12% de escoria metalúrgica y 38% de grava triturada, obtuvo la

misma gradación de nuestra investigación. Estando dentro de los rangos que especifica el manual de ensayo de materiales MTC-2016, el cual indica los porcentajes de agregado grueso entre 40-60%, agregado fino entre 40-60% y filler entre 5-10% para mezclas densas modificadas. Se sustituyó la grava por escoria de acero en forma parcial, dado que la escoria presenta propiedades físicas similares a la grava ayudando a mejorar la resistencia de la mezcla.

La mezcla convencional presentó un óptimo de cemento asfáltico de 5.8%, con una estabilidad de 6.8 KN. Este resultado es similar a lo determinado por Zumrawi & Khalill (2017), quienes determinaron un valor de 5.1%, con una estabilidad de 13.63 KN, asimismo Quanta et al. (2017), determinaron un óptimo contenido de asfalto de 4.8% una estabilidad de 13 KN. Esto se debe a que los materiales presentan una adecuada granulometría estando dentro de los usos granulométricos para la MAC-2.

La estabilidad Marshall en la mezcla modificada con 50% y 75% de escoria de acero se obtuvo 10.32 KN y 12.66 KN respectivamente incrementando la estabilidad en 51.76% y 86.17% respecto a la mezcla convencional de 6.80 KN. Estos resultados son mayores a los determinados por Zumrawi & Khalill (2017), quienes determinaron una estabilidad de 15 KN y 16.67 KN con un 50% y 75 % de escoria de acero respectivamente incrementando la estabilidad en 10.05% y 22.30% con respecto a la mezcla convencional de 13.63 KN. El uso de la escoria de acero como agregado en las mezclas asfálticas aumenta la estabilidad Marshall, relación estabilidad/flujo y el flujo (Rondón, Muniz y Reyes 2018), asimismo según la sección 423 del manual de especificaciones generales del MTC EG-2013 se cumplió con la estabilidad mínima de 5.44 KN establecida. Significa que la incorporación de la escoria de acero en forma parcial ayuda a mejorar la resistencia de la mezcla asfáltica.

En la mezcla convencional y modificada se obtuvo un porcentaje de vacíos de 4% para ambas mezclas y porcentaje de vacíos en el agregado mineral de 17.40% y 17.10% respectivamente, asimismo disminuyó su densidad aparente en 0.39% respecto a la mezcla convencional lo cual no presenta mayor significancia para la mezcla. Estos resultados son similares a los encontrados por Quantao et al. (2017), quienes lograron determinar valores para los vacíos en la mezcla convencional y modificada de 3.53% y 3.79% respectivamente, asimismo determinaron valores de 14.9% y 14.1% de vacíos en el agregado mineral para la mezcla convencional/modificada respectivamente. La escoria de acero debe sustituirse en forma parcial debido a que las mezclas con sustitución total son susceptibles a experimentar problemas asociados con el aumento del volumen de vacíos y disminución de los vacíos en el agregado mineral Hernández et al. (2021). Se debe a que las escorias de acero son más porosas y de mayor textura superficial en comparación con los agregados pétreos.

La estabilidad Marshall aumentó 32.35% respecto a la mezcla convencional debido a la incorporación de escoria de acero. Este resultado es mayor al encontrado por Quipusco Villegas, quienes determinaron un incremento de 7.2 % respecto a la mezcla convencional; asimismo Quantao et al. (2017), lograron determinar un incremento de estabilidad en un 29.1% respecto a la mezcla convencional. El uso de la escoria de acero como agregado en las mezclas asfálticas aumenta la estabilidad Marshall (Rondón, Muniz y Reyes 2018). Cuando se utiliza escoria de acero se incrementa la estabilidad, dado que la escoria presenta buenas propiedades físicas y mecánicas.

El flujo en la mezcla modificada se obtuvo 12.8 mm aumento en 80.28% respecto a la mezcla convencional la cual presentó un flujo de 7.10 mm. Este resultado es mayor al determinado por Pérez (2018), quien obtuvo un flujo de 17.7 mm para la mezcla modificada y un 14 mm para la mezcla convencional incrementando en 26.4% el flujo. Según la sección 423 del manual de especificaciones generales del MTC EG-2013 se cumplió con el flujo mínimo que varía entre 8-16.

VI. CONCLUSIONES

6.1. Se determinó que la escoria de acero influye en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente mejorando significativamente las propiedades mecánicas un 32.35% y 80.28% en estabilidad y flujo respectivamente, con una dosificación óptima del 30% de escoria de acero, asimismo se determinó que las propiedades físicas no presentan mayor variación respecto a la mezcla asfáltica convencional.

6.2. Se determinó en la caracterización de materiales que los agregados presentan un 21.1% de desgaste abrasivo, 95% en arena equivalente, peso específico del agregado fino y grueso de 2.516 Kg/cm³, 2.635 kg/cm³ respectivamente y un 98% de adherencia en bandeja, entre otros. Todos los agregados cumplen con los parámetros que especifica el manual de ensayo de materiales MTC 2016.

6.3. Se determinó la proporción de los materiales a través del diseño de mezclas, el cual presenta un huso granulométrico MAC-2 con 45% de agregado fino (arena), 55% de agregado grueso (grava de ¾") y 5.8% de asfalto para la mezcla asfáltica convencional, asimismo un 45% de agregado fino, 55% de agregado grueso, 6% de asfalto y un 15%, 25%, 50% y 75% de escoria de acero en reemplazo del peso del agregado grueso para la mezcla asfáltica modificada.

6.4. El método del instituto del asfalto permitió determinar el porcentaje óptimo de asfalto de 5.8% para la mezcla convencional, asimismo para la mezcla modificada se determinó un 6% de óptimo de asfalto.

6.5. Se determinó que la mezcla modificada aumenta su estabilidad en un 51.76% y 86.18% con adición de escoria en 50 y 75% respectivamente respecto a la mezcla convencional, en el análisis estadístico se determinó que existe una diferencia muy significativa en dos grupos GE3ESTAB50 y GE4ESTAB75 (sing < 0.05) respecto a la mezcla convencional GCESTAB, asimismo incrementa su flujo en 55.63% y 37.75% con 50% y 75% de escoria de acero respecto a la mezcla asfáltica convencional.

6.6. Se comparó las propiedades mecánicas como la estabilidad y flujo las cuales incrementan significativamente en 32.35% y 80.28% respecto a la mezcla asfáltica convencional, también se comparó sus propiedades físicas como la densidad y vacíos en el agregado mineral las cuales disminuyen en 0.39% y 1.72% respecto a la mezcla asfáltica convencional.

VII. RECOMENDACIONES

- 7.1. Se recomienda aplicar en campo dicho trabajo de investigación construyendo un tramo pequeño de pavimento y sometiendo a cargas de tráfico para determinar mediante la práctica si se logra evitar el ahuellamiento logrando así mejorar su resistencia de la mezcla.
- 7.2. Se recomienda realizar investigaciones para el uso de escoria de acero en reemplazo del agregado fino para la producción de concreto rígido.
- 7.3. Se propone realizar ensayos con otros materiales alternativos a los agregados pétreos, para obtener un mejoramiento en sus propiedades de flujo y estabilidad en la mezcla asfáltica. Igualmente, realizar estudios al óptimo contenido de escoria para una mezcla modificada.
- 7.4. Se recomienda realizar futuros trabajos de investigación con un análisis comparativo entre el método Marshall y Superpave en el mejoramiento de mezclas con adición de escoria de acero.

REFERENCIAS

ACEROS Arequipa, RSE Perú. 17 de agosto del 2012. Disponible en <https://noticias.rse.pe/corporacion-aceros-arequipa-pone-a-disposicion-300-000-tm-de-escoria-para-construccion-de-pistas-en-pisco/>

ALI, Zulfiqar, NORHIDAYAH, Abdul, ATHMA, Nurul, KHAIRUL, Mohd, Y NAQUIUDDIN, Muhammad. *Characterization of industrial by-products as asphalt paving material* [en línea]. 18 de marzo de 2019, 220, nº3. [fecha de consulta: 19 de abril de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1088/1755-1315/220/1/012012>

ÁLVAREZ, Luis Y CARRERA, Ever. Influencia de la incorporación de partículas de caucho reciclado como agregados en el diseño de mezcla asfáltica. Tesis (Titulación Profesional en Ing. Civil). Trujillo: Universidad UPAO, 2017. Disponible en <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/3595>

BAI, Tao, Zige, SON, Hao, WANG, Yanguang, WU y Wei, HUANG . Performance evaluation of metakaolin geopolymer modified by different solid wastes [en línea]. 20 de julio de 2019, 226 [fecha de consulta: 19 de abril de 2022]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619311709>
ISSN: 0959-6526

BING, Ling, TANG, Biao, ZHEN, Ma, HANCHI, Cheng, Y HONGBO, Li. *Physical and Chemical Properties of Steel Slag and Utilization Technology of Steel Slag at Home and Abroad*. [en línea]. 1 de abril de 2019, 242, nº3 [fecha de consulta: 19 de abril de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1088/1755-1315/242/3/032012>

BRAVO, Benjamín y MONTALVO, Jorge. Desarrollo de una mezcla asfáltica de caucho: Caracterización del nuevo material. Tesis (Titulación Profesional en Ing. Civil). Pimentel: Universidad Señor de Sipán, 2019. Disponible en <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/6877/Bravo%20C>

[abrera%20Benjam%c3%adn%20%26%20Montalvo%20Malca%20Jorge.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uess.edu.pe/handle/20.500.12802/8688)

CALVA, Leyner. Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente incorporando escoria de acero. Tesis (Titulación Profesional en Ing. Civil). Pimentel: Universidad Señor de Sipán, 2020. Disponible en <https://repositorio.uess.edu.pe/handle/20.500.12802/8688>

CHEN, Wei, HUO, Zhiqiang y YANG, Zhengxun. *Study on the performance of green cement with large amount of steel slag addition* [en línea]. 26 de febrero de 2019,233, n°2 [fecha de consulta: 19 de abril de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1088/1755-1315/233/2/022015>

CONTRERAS, Diego y ZÚÑIGA, Javier. Influencia de los desperdicios plásticos en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas. Tesis (Titulación Profesional en Ing. Civil). Lima: Universidad Ricardo Palma, 2020. Disponible en <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/3686>

DÁVALOS, Roció. Obtención de mezclas asfálticas mediante la adición de material reciclado: Poliestireno expandido Tesis (Titulación Profesional en Ing. de Materiales). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, 2015. Disponible en <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/1910>

DECRETO supremo N.º 001-2010-vivienda (Perú) Norma Técnica CE.010 Pavimento Urbano Lima: 2010, 23 pp.

ENSAYO American Society for Testing and Materials o ASTM International (Estados Unidos). ASTM C 29. Método de Ensayo Normalizado para determinar la densidad aparente ("peso unitario") e Índice de Huecos en los Áridos. Montgomery: s.f, 1-6 pp.

ENSAYO American Society for Testing and Materials o ASTM International (Estados Unidos). ASTM C 88. Método de prueba estándar para la solidez de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. Montgomery: s.f, 1-5 pp.

ENSAYO American Society for Testing and Materials o ASTM International (Estados Unidos). ASTM C 127. Método de Prueba Estándar para la densidad, densidad relativa (gravedad específica), y absorción de agregado grueso. Montgomery: 2018, 2-14 pp.

ENSAYO American Society for Testing and Materials o ASTM International (Estados Unidos). ASTM C 128. Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino. Montgomery: s.f, 2-8 pp

ENSAYO American Society for Testing and Materials o ASTM International (Estados Unidos). ASTM C 131. Método de Ensayo Normalizado para la resistencia a la degradación de los áridos gruesos de tamaño pequeño por el método de abrasión e impacto en la Máquina Los Ángeles. Montgomery: s.f, 1-5pp.

ENSAYO American Society for Testing and Materials o ASTM International (Estados Unidos). ASTM C 136. "Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates". Montgomery: s.f, 2-5 pp.

ENSAYO American Society for Testing and Materials o ASTM International (Estados Unidos). ASTM C 566. Método de Ensayo Normalizado para Determinar el Contenido de Humedad Total Evaporable de los Áridos por Secado. Montgomery: 2017, 1-3 pp.

ENSAYO American Society for Testing and Materials o ASTM International (Estados Unidos). ASTM D 2419. Método de prueba para el valor de equivalente de arena en suelos y agregado fino. Montgomery: s.f, 1-7 pp.

ENSAYO American Society for Testing and Materials o ASTM International (Estados Unidos). ASTM D 4791. Determinación de partículas largas y achatadas. Montgomery: s.f, 2-13 pp.

ENSAYO American Society for Testing and Materials o ASTM International (Estados Unidos). ASTM D-5821. Método Estándar de prueba para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas o trituradas en agregados gruesos designación. Montgomery: s.f, 1-5 pp.

GALVEZ, Cristhian, & VALLADOLID, Edson. Estudio comparativo de las mezclas asfálticas en frío, con escoria siderúrgica y otra convencional. Tesis (Titulación Profesional en Ing. Civil). Pimentel: Universidad Señor de Sipán, 2015.
Disponible en <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/1041>

GENCEL, Osman, KARADAG, Omer, OREN, Osman y BILIR, Turhan. *Steel slag and its applications in cement and concrete technology: A review* [en línea]. 10 de mayo del 2021, 283 [fecha de consulta: 26 de abril de 2022]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061821005432>
ISSN: 0950-0618

HERNÁNDEZ, Noe, GARCÍA, Tania, RAMÍREZ, Rosa, OCHOA, Ricardo y OSSA, Alexandra. *Effect of application of metallurgical slag powders on physical and rheological properties of asphalt* [en línea]. 19 de julio del 2021, 292 [fecha de consulta: 15 de septiembre del 2021]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061821011922>
ISSN: 0950-0618

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA Pilar. Metodología de la investigación. 5.^a ed. México: Mc Graw Hill, 2014. 120 – 137 pp.
ISBN: 978-607-15-0291-9

HIEN, Nguyen, DAI, Lu y SON, Le. *Investigation of using steel slag in hot mix asphalt for the surface course of flexible pavements. 2nd International Conference on Sustainable Development in Civil, Urban and Transportation*

Engineering [en línea]. 17-19 de abril de 2018, 143 [fecha de consulta: 19 de abril de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1088/1755-1315/143/1/012022>

INGENIERÍA de carreteras por Kraemer Carlos, [et al.]. [en línea]. Madrid: Interamericana de España, 2004 [fecha de consulta: 20 de octubre de 2021] Disponible en:

https://www.academia.edu/43389350/Ingenier%C3%ADa_de_Carreteras_Vol_I_Carlos_Kraemer_Jos%C3%A9_Mar%C3%ADn_Pardillo_Sandro_Rocci_Manuel_G_Romana_V%C3%ADctor_S%C3%A1nchez_Blanco_Miguel_%C3%81ngel_del_Val

ISBN: 84-481-3998-4

INSTITUTO nacional de vías (Perú). E - 740 – 07. Ensayo de adherencia en bandeja. Lima: 1-4 Pp.

JOHNSON. Construction of Quality Asphalt Pavements MS-22 [en línea]. 3.^aed. Estados Unidos: Asphalt institute, 2020 (fecha de consulta: 20 de octubre de 2021)

ISBN: 978-1-9341547-79-3

MENÉNDEZ, José. Ingeniería de Pavimentos: Materiales, Diseño y Conservación [en línea]. 1.^a ed. Perú: ICG, 2009 [fecha de consulta: 10 de septiembre de 2021]. Disponible en:

<https://www.estructuristas.com/2021/02/libro-de-ingenieria-de-pavimentos-jose.html>

MINAYA, Silene Y ORDOÑEZ, Abel. Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos Tesis (Titulación Profesional en Ing. de Civil en Pavimentos) Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2006. Disponible en https://www.academia.edu/34829662/UNIVERSIDAD_NACIONAL_DE_INGENIERIA_DISE%91O_MODERNO_DE_PAVIMENTOS_ASF%81LTICOS_M_Sc_SILENE_MINAYA_GONZ%81LEZ

MINISTERIO de transporte y comunicaciones (Perú). MTC EG-2013: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción. Lima, 2013. 56 pp.

MINISTERIO de transporte y comunicaciones (Perú). MTC E 111: Manual de Ensayo de Materiales. Lima: 2016. 72 pp.

MINISTERIO de transporte y comunicaciones (Perú). MTC E 203: Manual de Ensayo de Materiales. Lima: 2016. 298 pp.

MINISTERIO de transporte y comunicaciones (Perú). MTC E 204: Manual de Ensayo de Materiales. Lima: 2016. 303 pp.

MINISTERIO de transporte y comunicaciones (Perú). MTC E 205: Manual de Ensayo de Materiales. Lima: 2016. 309 pp.

MINISTERIO de transporte y comunicaciones (Perú). MTC E 206: Manual de Ensayo de Materiales. Lima: 2016. 312 pp.

MINISTERIO de transporte y comunicaciones (Perú). MTC E 207: Manual de Ensayo de Materiales. Lima: 2016. 315 pp.

MINISTERIO de transporte y comunicaciones (Perú). MTC E 209: Manual de Ensayo de Materiales. Lima: 2016. 329 pp.

MINISTERIO de transporte y comunicaciones (Perú). MTC E 210: Manual de Ensayo de Materiales. Lima: 2016. 337 pp.

MINISTERIO de transporte y comunicaciones (Perú). MTC E 223: Manual de Ensayo de Materiales. Lima: 2016. 391 pp.

MINISTERIO de transporte y comunicaciones (Perú). MTC E 520: Manual de Ensayo de Materiales. Lima: 2016. 658 pp.

NORMA Técnica Peruana (Perú). NTP 339.129. Suelos. Método de ensayo para determinar el límite líquido. Límite plástico, e índice de plasticidad de suelos. Lima: 1999, 2-27pp.

NORMA Técnica Peruana (Perú) NTP 339.146. Suelos. Método de ensayo normalizado para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino. Lima: 2015, 2-24 pp.

NORMA Técnica Peruana (Perú). NTP 400.012. Agregados: Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. Lima: 2001, 2-15 pp.

NORMA Técnica Peruana (Perú). NTP 400. 017. Agregados: Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados. Lima: 2011. 6pp.

NORMA Técnica Peruana (Perú). NTP 400.021. Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Lima: 2013, 2-8 pp.

NORMA Técnica Peruana (Perú). NTP 400.022. Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Lima: 2013,1-20 pp.

NORMA Técnica Peruana (Perú). NTP 400.037. Agregados Especificaciones normalizadas para agregados en concreto. Lima: 2014. 7 pp.

PÉREZ, Herles. Diseño de mezclas asfálticas en caliente con la adición de escoria metalúrgica–Lima, 2018. Tesis (Titulación Profesional en Ing. Civil). Lima: Universidad César Vallejo, 2018.

Disponible en

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/33945>

QUIPUSCO, Frank, y VILLEGAS, Deiby. *Efectos de sustituir agregado grueso convencional por siderúrgico en las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente*. Tesis (Titulación Profesional en Ing. Civil). Pimentel: Universidad Señor de Sipán, 2019. Disponible en <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/5609/Quipusco%20Villalobos%20&%20Villegas%20Villegas.pdf?sequence=1>

QUANTAO, Liu, BIN, li, SCHLANGEN, Erik, YIHAN, Sol y SHAOPENG, Wu. Investigación sobre las propiedades mecánicas, térmicas, de calentamiento por inducción y curativas de la mezcla asfáltica compuesta de escoria de acero y fibras de acero [en línea]. 20 de octubre de 2017, 7 [fecha de consulta: 20 de abril de 2022]. Disponible en <https://www.mdpi.com/2076-3417/7/10/1088>
ISSN 2076-3417

REVISTA MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute), [en línea]. China: Applied sciences, 2017 [fecha de consulta: 20 de octubre de 2021].
[Disponible en https://www.mdpi.com/2076-3417/7/10/1088](https://www.mdpi.com/2076-3417/7/10/1088)
ISSN: 2076-3417

RONDÓN, Hugo, MUNIZ, Marcio Y REYES, Alberto. Uso de escorias de alto horno y acero en mezclas asfálticas: revisión [en línea]. Julio-diciembre del 2018 ,17, n. ° 33 [fecha de consulta: 26 de abril de 2022]. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-33242018000200071&script=sci_abstract&tIng=es

RONDÓN, Hugo Y REYES, Fredy. Pavimentos: Materiales y diseño [en línea]. Bogotá: Ecoe ediciones, 2015 [fecha de consulta: 20 de octubre de 2021]. Capítulo 2. Mezcla asfáltica en caliente. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=zuwcDgAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=true>
ISBN: 978-958-771-175-2

RONDÓN, Hugo, RUGE, Juan, PATIÑO, Daniel, VACCA, Hermes, REYES, Fredy y FERNÁNDEZ, Wilmer. Caracterización de una escoria de alto horno para proyectos [en línea]. Abril 2018, 33, n.º 1 [fecha de consulta: 26 de abril de 2022].

Disponible en

https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071850732018000100083&lang=pt#aff3

ISSN 0718-5073

SHIHA, Mohamed, BADAWEY, Sherif y GABR, Alaa. Modeling and performance evaluation of asphalt mixtures and aggregate bases containing steel slag [en línea]. 10 de julio de 2020, 248 [fecha de consulta: 14 de septiembre de 2021].

Disponible en

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118710>

ISSN: 0950-0618

WORLDSTEEL association. 3 de Junio del 2021 .Disponible en

<https://worldsteel.org/media-centre/press-releases/2021/world-steel-in-figures-2021-now-available/>

ZUMRAWI, Magdi y KHALILL Faiza. [en línea]. Estudio Experimental de Escoria de Acero Utilizada como Agregado en Mezcla Asfáltica [en línea]. 27 de febrero de 2017,1, n.º 1 [fecha de consulta: 15 de septiembre del 2021].Disponible en

<https://www.sciencepublishinggroup.com/journal/paperinfo?journalid=618&doi=10.11648/j.ajcbm.20170101.12>

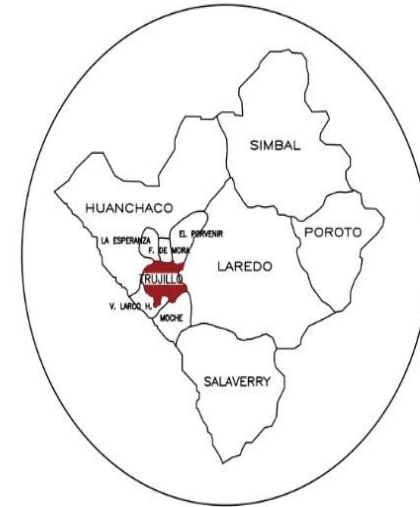
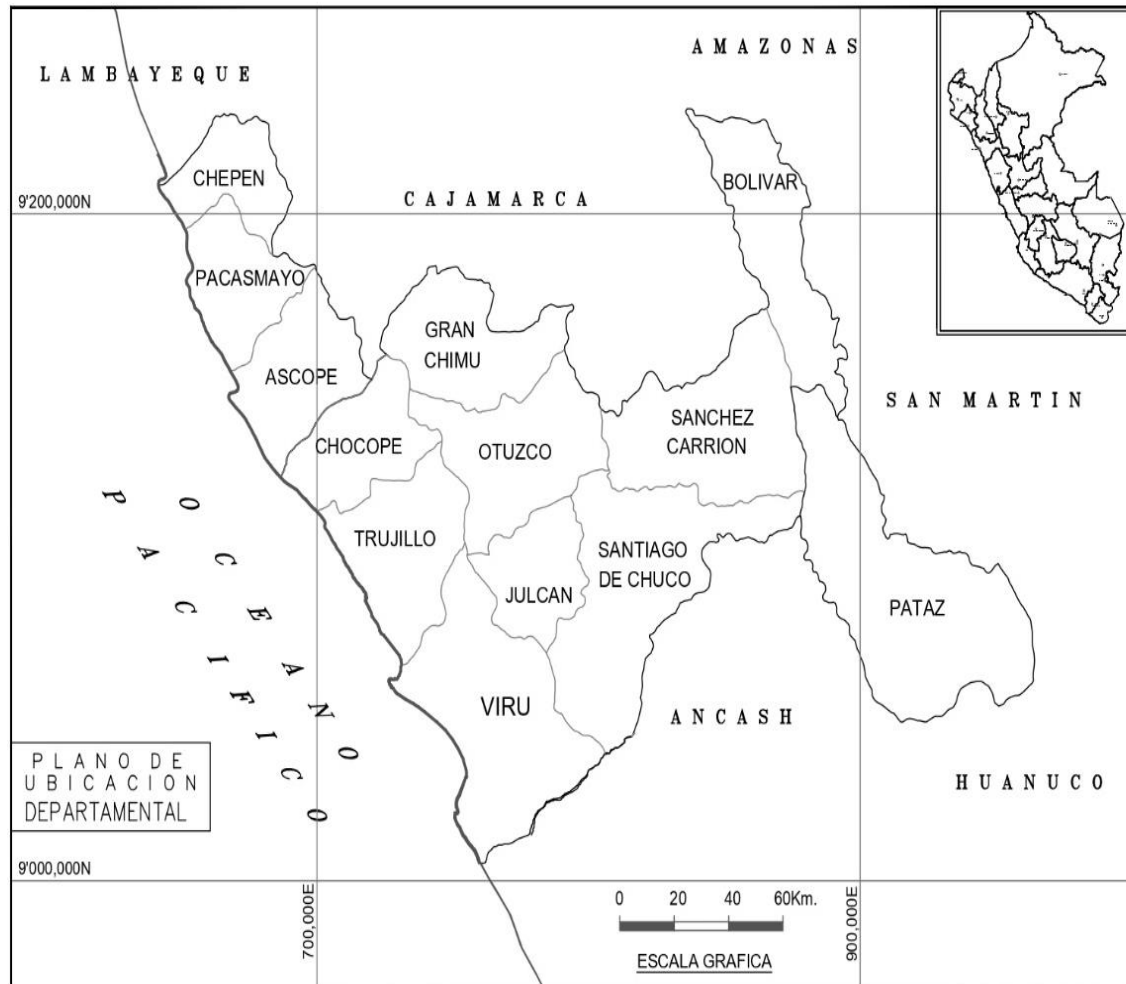
ISSN: 2330-1635


ANEXOS

Anexo 1. Matriz de operacionalización de variables.

| VARIABLE DE ESTUDIO | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | INDICADORES | ESCALA DE MEDICIÓN |
|---|--|---|--|--------------------|
| V.I. Escoria de acero | Se compone principalmente de CaO, Fe ₂ O ₃ , SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , MgO y MnO, de mayor importancia es la forma mineralógica de la escoria, que depende en gran medida de la velocidad de enfriamiento de la escoria en el proceso de fabricación de acero (Shiha, Badawy & Gabr, 2020) | Manual de ensayo de materiales 2016: procedimientos y métodos para la ejecución de ensayos de laboratorio y de campo, en la ejecución de obras viales. Especificaciones técnicas generales para construcción MTC EG-2013: (requisitos, parámetros y procedimientos de las actividades relativas a las obras de infraestructura vial) | Análisis granulométrico (%) Arena equivalente (%) Porcentajes escoria de acero (15%,25%, 50%, 75%) Peso específico de agregados (g/cm ³) Peso unitario de agregados (g/cm ³) Absorción de agregados (%) Durabilidad de agregados al sulfuro de Magnesio (%) Ensayo de adherencia en bandeja (%) Desgaste abrasivo de los ángeles (%) Caras fracturadas en agregados (%) Partículas chatas y alargadas en agregados (%) Humedad natural de agregados (%) | Razón |
| V.D. Propiedades físico mecánicas de mezclas asfálticas en caliente | Según Ortiz (2016) el mejoramiento del asfalto es una técnica usada para el aprovechamiento efectivo del asfalto. Esto tiene como fin mejorar sus características mecánicas. | Las mezclas asfálticas en caliente, llegan a cumplir con los requerimientos de calidad que nos exige el manual de carreteras-MTC, al igual con la Norma Técnica E010 y Pavimentos-IGC. | Estabilidad (KN) Flujo (mm) Densidad (g/cm ³) Vacíos en la mezcla VMT (%) Vacíos en el agregado mineral VMA (%) | Razón |

Anexo 2. Plano de ubicación y localización del proyecto.



| | | |
|---|--|---|
|  UCV UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | <small>TÍTULO DEL PROYECTO:</small> Escoria de acero y su influencia en las propiedades físico mecánicas en las propiedades de las mezclas asfálticas en caliente. | |
| | <small>AUTORES:</small> Luis Reyna, Juan José Silva Terrones, Debora Alexandra | <small>UBICACION:</small> Departamento: La Libertad Provincia: Trujillo Distrito: Trujillo |
| <small>PLANO:</small> PLANO DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN | | |

Anexo 3. Instrumento de recolección de datos



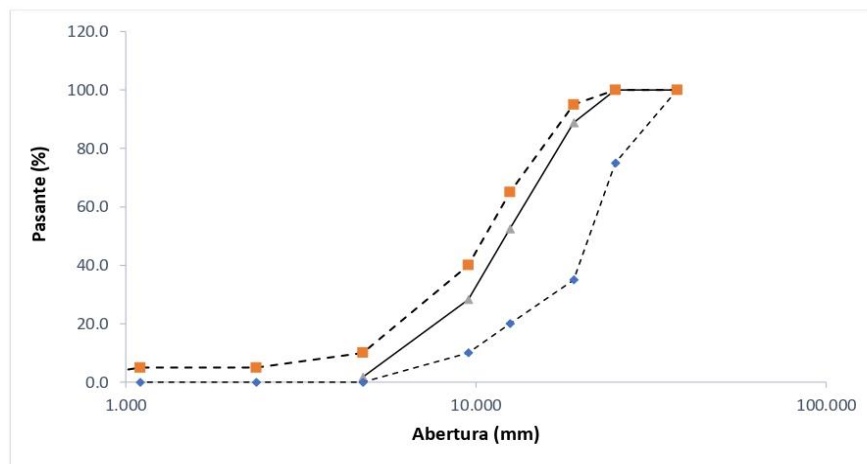
UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Cerámicos y Suelos

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ASTM C136

PROYECTO : "ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, TRUJILLO 2021"
MUESTRA : AGREGADO GRUESO
SOLICITANTE : LUIS REYNA JUAN JOSE
UBICACIÓN : SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA
 TRUJILLO - LA LIBERTAD

| TAMIZ | ABERTURA (mm.) | PESO TAMIZ (g.) | TAMIZ + MUESTRA (g.) | PESO RETENIDO (g.) | PARCIAL RETENIDO (%) | ACUMULADO (%) | |
|-------------------|----------------|-----------------|----------------------|--------------------|----------------------|---------------|-------------|
| | | | | | | RETENIDO | PASANTE |
| 1 1/2" | 37.500 | 205.4 | 205.40 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 100.0 |
| 1" | 25.000 | 175.05 | 175.05 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 100.0 |
| 3/4" | 19.000 | 171.01 | 284.45 | 113.44 | 11.19 | 11.2 | 88.8 |
| 1/2" | 12.500 | 204.83 | 573.02 | 368.19 | 36.32 | 47.5 | 52.5 |
| 3/8" | 9.500 | 186.32 | 432.02 | 245.70 | 24.24 | 71.7 | 28.3 |
| Nº4 | 4.750 | 189.87 | 458.60 | 268.73 | 26.51 | 98.3 | 1.7 |
| Nº8 | 2.360 | 177.56 | 190.98 | 13.42 | 1.32 | 99.6 | 0.4 |
| Nº16 | 1.100 | 128.21 | 128.60 | 0.39 | 0.04 | 99.6 | 0.4 |
| Nº30 | 0.600 | 124.67 | 124.98 | 0.31 | 0.03 | 99.6 | 0.4 |
| Nº50 | 0.297 | 123.66 | 123.93 | 0.27 | 0.03 | 99.7 | 0.3 |
| Nº100 | 0.149 | 115.14 | 116.46 | 1.32 | 0.13 | 99.8 | 0.2 |
| Nº200 | 0.075 | 247.01 | 248.07 | 1.06 | 0.10 | 99.9 | 0.1 |
| FONDO | Fondo | 218.84 | 219.77 | 0.93 | 0.09 | 100.0 | 0.0 |
| PESO TOTAL | | | | 1013.76 | 100 | T.M. | 3/4" |
| | | | | | | T.M.N. | 1/2" |



Observaciones:

TM= Tamaño máximo de agregado
 TMN= Tamaño máximo nominal del agregado



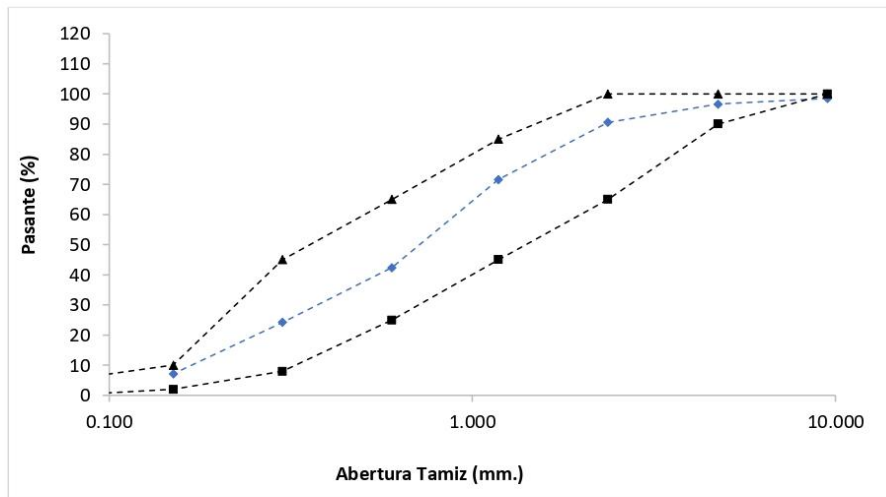
Jorge Alejandro Estrada Vlasava
 ING. DE MATERIALES
 R. CIP. N° 197384



ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO
ASTM C136

PROYECTO : "ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, TRUJILLO 2021"
MUESTRA : AGREGADO FINO
SOLICITANTE : LUIS REYNA JUAN JOSE
SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA
UBICACIÓN : TRUJILLO - LA LIBERTAD

| TAMIZ | ABERTURA (mm.) | PESO TAMIZ (g.) | TAMIZ + MUESTRA (g.) | PESO RETENIDO (g.) | PARCIAL RETENIDO (%) | ACUMULADO (%) | |
|------------|----------------|-----------------|----------------------|--------------------|----------------------|---------------|---------|
| | | | | | | RETENIDO | PASANTE |
| 3/8" | 9.500 | 186.32 | 195.45 | 9.13 | 1 | 1 | 99 |
| Nº4 | 4.750 | 189.87 | 201.54 | 11.67 | 2 | 3 | 97 |
| Nº8 | 2.360 | 177.56 | 215.05 | 37.49 | 6 | 9 | 91 |
| Nº16 | 1.180 | 128.21 | 245.15 | 116.94 | 19 | 28 | 72 |
| Nº30 | 0.600 | 124.67 | 305.15 | 180.48 | 29 | 58 | 42 |
| Nº50 | 0.300 | 123.66 | 235.45 | 111.79 | 18 | 76 | 24 |
| Nº100 | 0.150 | 115.14 | 220.54 | 105.40 | 17 | 93 | 7 |
| Nº200 | 0.075 | 247.01 | 289.45 | 42.44 | 7 | 100 | 0 |
| FONDO | | 218.84 | 220.54 | 1.70 | 0 | 100 | 0 |
| PESO TOTAL | | | | 617.04 | | 100 | |



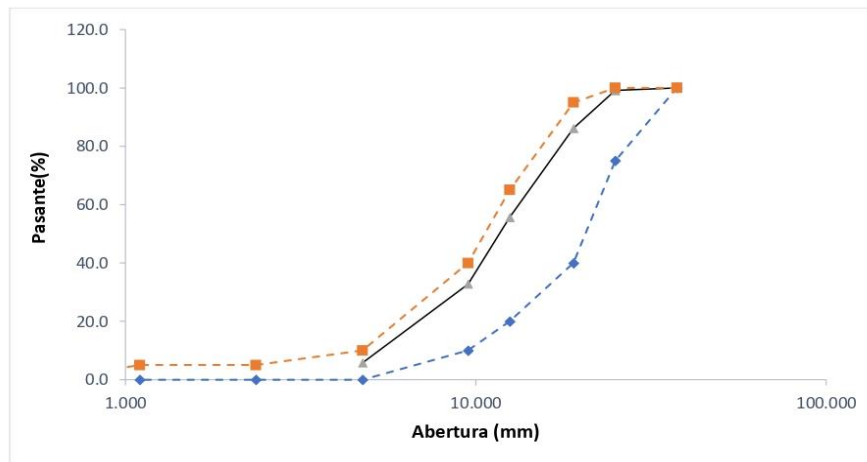
Jorge Alejandro Barrantes Villanueva
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 197384



ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO
ASTM C136

PROYECTO : "ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, TRUJILLO 2021"
MUESTRA : ESCORIA
SOLICITANTE : LUIS REYNA JUAN JOSE
SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA
UBICACIÓN : TRUJILLO - LA LIBERTAD

| TAMIZ | ABERTURA (mm.) | PESO TAMIZ (g.) | TAMIZ + MUESTRA (g.) | PESO RETENIDO (g.) | PARCIAL RETENIDO (%) | ACUMULADO (%) | |
|------------|----------------|-----------------|----------------------|--------------------|----------------------|---------------|---------|
| | | | | | | RETENIDO | PASANTE |
| 1 1/2" | 37.500 | 205.4 | 205.40 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 100.0 |
| 1" | 25.000 | 175.05 | 185.45 | 10.40 | 0.87 | 0.9 | 99.1 |
| 3/4" | 19.000 | 171.01 | 325.15 | 154.14 | 12.95 | 13.8 | 86.2 |
| 1/2" | 12.500 | 204.83 | 568.42 | 363.59 | 30.55 | 44.4 | 55.6 |
| 3/8" | 9.500 | 186.32 | 458.45 | 272.13 | 22.87 | 67.2 | 32.8 |
| Nº4 | 4.750 | 189.87 | 510.51 | 320.64 | 26.94 | 94.2 | 5.8 |
| Nº8 | 2.360 | 177.56 | 205.48 | 27.92 | 2.35 | 96.5 | 3.5 |
| Nº16 | 1.100 | 128.21 | 158.45 | 30.24 | 2.54 | 99.1 | 0.9 |
| Nº30 | 0.600 | 124.67 | 130.54 | 5.87 | 0.49 | 99.6 | 0.4 |
| Nº50 | 0.297 | 123.66 | 123.93 | 0.27 | 0.02 | 99.6 | 0.4 |
| Nº100 | 0.149 | 115.14 | 116.46 | 1.32 | 0.11 | 99.7 | 0.3 |
| Nº200 | 0.075 | 247.01 | 249.56 | 2.55 | 0.21 | 99.9 | 0.1 |
| FONDO | Fondo | 218.84 | 219.77 | 0.93 | 0.08 | 100.0 | 0.0 |
| PESO TOTAL | | | | 1190.00 | 100 | T.M. | 1" |
| | | | | | | T.M.N. | 3/4" |



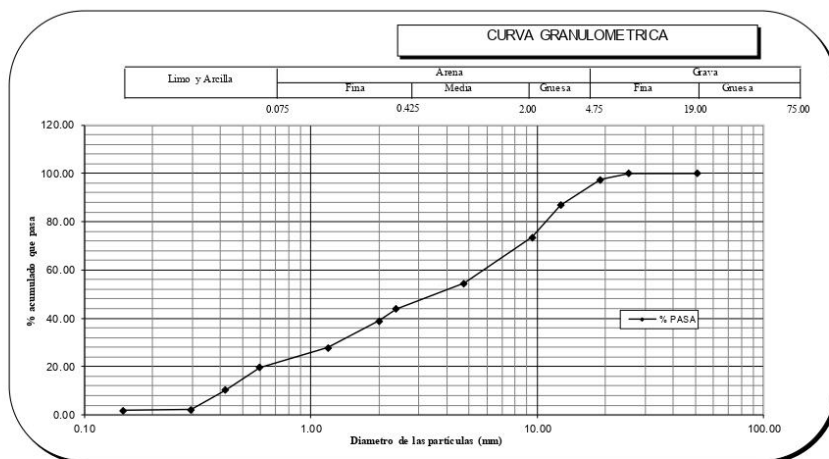
Jose Alejandro Barrientos Villanueva
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 197384



ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO
ASTM C136

PROYECTO : ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
UBICACION : TRUJILLO - LA LIBERTAD
MATERIAL : AGREGADOS MEZCLA
AUTORES : LUIS REYNA JUAN JOSE
SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA

| ABERT. MALLA | | PESO RETENIDO | % RETENIDO | % RET ACUMULADO | % PASA |
|--------------|--------|------------------|------------|--------------------|--------|
| Pulg/malla | mm | | | | |
| 2" | 50.800 | | | | |
| 1" | 25.400 | | | | 100.00 |
| 3/4" | 19.050 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.700 | 18.00 | 2.52 | 2.52 | 97.48 |
| 3/8" | 9.525 | 75.40 | 10.57 | 13.09 | 86.91 |
| N° 4 | 4.760 | 94.84 | 13.30 | 26.39 | 73.61 |
| N° 8 | 2.381 | 136.58 | 19.15 | 45.54 | 54.46 |
| N° 10 | 2.000 | 75.62 | 10.60 | 56.14 | 43.86 |
| N° 16 | 1.191 | 35.45 | 4.97 | 61.11 | 38.89 |
| N° 30 | 0.595 | 78.45 | 11.00 | 72.10 | 27.90 |
| N° 40 | 0.420 | 58.64 | 8.22 | 80.32 | 19.68 |
| N° 50 | 0.296 | 66.39 | 9.31 | 89.63 | 10.37 |
| N° 100 | 0.149 | 58.74 | 8.23 | 97.87 | 2.13 |
| N° 200 | 0.074 | 2.48 | 0.35 | 98.21 | 1.79 |



Jose Alejandro Espartero Villanueva
ING. DE MATERIALES
E.C.P. N° 197384



PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO
ASTM C 127

PROYECTO : ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LA MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE.
SOLICITANTE : LUIS REYNA JUAN JOSE
SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA
UBICACIÓN : TRUJILLO - LA LIBERTAD
MUESTRA : AGREGADO GRUESO

| PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO | | | | |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------------|-------------|-------------|
| DESCRIPCIÓN | UND | MUESTRAS | | |
| | | M-1 | M-2 | M-3 |
| B =Peso de la muestra SSS | g | 417.54 | 419.34 | 422.39 |
| C = Peso de la muestra SSS | g | 262.00 | 263.47 | 265.84 |
| Peso de bandeja | g | 86.00 | 86.00 | 86.00 |
| Peso de bandeja + Muestra seca | g | 324.45 | 1000.10 | 1000.61 |
| A = Peso de la muestra secada | g | 410.45 | 409.65 | 411.94 |
| Peso específico de masa SSS | kg/m ³ | 2684.45 | 2690.32 | 2698.12 |
| Peso específico aparente | kg/m ³ | 5195.36 | 1357.67 | 1361.80 |
| Peso específico de masa | kg/m ³ | 2639 | 2635 | 2631 |
| Promedio del peso específico | kg/m ³ | 2635 | | |
| Peso específico de masa: | 2635 | kg/m³ | | |

| ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO | | | | |
|------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| DESCRIPCIÓN | UND | MUESTRA | | |
| | | M-1 | M-2 | M-3 |
| B =Peso de la muestra SSS | kg | 417.54 | 419.34 | 422.39 |
| A = Peso de la muestra secada | kg | 410.45 | 409.65 | 411.94 |
| Porcentaje de absorción (%) | % | 1.7 | 2.4 | 2.5 |
| Promedio | % | 2.2 | | |
| Absorción: | 2.2 | % | | |



Jorge Alejandro Espartero Vilamava
ING. DE MATERIALES
CIP. N° 197384



**PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO
ASTM C 29**

PROYECTO : ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LA MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE.
SOLICITANTE : LUIS REYNA JUAN JOSE
SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA
UBICACIÓN : TRUJILLO - LA LIBERTAD
MUESTRA : AGREGADO GRUESO

| PESO UNITARIO SECO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO | | | | |
|---|-------------------|-------------------------|-------------|-------------|
| DESCRIPCIÓN | UND | MUESTRAS | | |
| | | M-1 | M-2 | M-3 |
| Peso de molde | kg | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| Altura del molde | m | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| Diametro del molde | m | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| Radio del molde | m | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| Volumen del molde | m ³ | 0.01060 | 0.01060 | 0.01060 |
| Peso de molde + Muestra | kg | 18.45 | 18.71 | 18.74 |
| Peso Unitario Suelto (P.U.S.) | kg/m ³ | 1627 | 1651 | 1654 |
| Promedio | kg/m ³ | 1644 | | |
| Peso Unitario Suelto (P.U.S.) | 1644 | kg/m³ | | |

| PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO | | | | |
|--|-------------------|-------------------------|-------------|-------------|
| DESCRIPCIÓN | UND | MUESTRAS | | |
| | | M-1 | M-2 | M-3 |
| Peso de molde | kg | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| Altura del molde | m | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| Diámetro del molde | m | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| Radio del molde | m | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| Volumen del molde | m ³ | 0.01060 | 0.01060 | 0.01060 |
| Peso de molde + Muestra | kg | 20.32 | 20.94 | 20.34 |
| Peso Unitario Compactado (P.U.C.) | kg/m ³ | 1803 | 1862 | 1805 |
| Promedio | kg/m ³ | 1823 | | |
| Peso Unitario Compactado (P.U.C.) | 1823 | kg/m³ | | |



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



HUMEDAD NATURAL DEL AGREGADO GRUESO
ASTM C 566

PROYECTO : ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LA MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE
SOLICITANTE : LUIS REYNA JUAN JOSE
SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA
UBICACIÓN : TRUJILLO - LA LIBERTAD
MUESTRA : AGREGADO GRUESO

| CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO | | | | |
|--|------------|------------|------------|------------|
| DESCRIPCIÓN | UND | MUESTRAS | | |
| | | M-1 | M-2 | M-3 |
| Peso de tara | g | 70.45 | 70.54 | 78.00 |
| Peso de la muestra natural | g | 130.54 | 191.21 | 194.00 |
| Peso de muestra seca + Tara | g | 200.00 | 260.14 | 270.04 |
| Contenido de humedad | % | 0.8 | 0.8 | 1.0 |
| Promedio | % | 0.9 | | |
| Contenido de humedad: | 0.9 | % | | |



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



**PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO FINO
ASTM C128**

PROYECTO : ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LA MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE
SOLICITANTE : LUIS REYNA JUAN JOSE
SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA
UBICACIÓN : TRUJILLO - LA LIBERTAD
MUESTRA : AGREGADO FINO

PESO ESPECÍFICO

| DESCRIPCIÓN | UND | MUESTRAS | | |
|--|-------------------|-------------------------|-------------|-------------|
| | | M-1 | M-2 | M-3 |
| Volumen de agua en la fiola | cm ³ | 500 | 500 | 500 |
| Peso de la fiola (limpio y seco) | g | 173.17 | 174.54 | 177.23 |
| B = Peso de la fiola + Agua | g | 690.32 | 693.54 | 694.14 |
| Peso de la fiola + Peso muestra SSS | g | 545.57 | 554.78 | 558.14 |
| C = Peso de la fiola + Peso muestra SSS + | g | 922.43 | 921.56 | 927.09 |
| Peso del agua (5-4) | g | 376.86 | 366.78 | 368.95 |
| Peso de recipiente | g | 87.45 | 82.12 | 85.16 |
| Recipiente + Muestra seca | g | 459.12 | 446.34 | 455.79 |
| A = Peso de la muestra secada al horno | g | 371.67 | 364.22 | 370.63 |
| S = Peso de la muestra SSS (4-2) | g | 372.4 | 380.24 | 380.91 |
| Peso específico de masa SSS | kg/m ³ | 2655 | 2498 | 2574 |
| Peso específico aparente | kg/m ³ | 2663 | 2674 | 2692 |
| Peso específico de masa | kg/m ³ | 2649 | 2393 | 2505 |
| Promedio peso específico de masa | kg/m ³ | 2516 | | |
| Peso específico de masa: | 2516 | kg/m³ | | |

ABSORCIÓN

| DESCRIPCIÓN | UND | MUESTRA | | |
|---|-----|------------|------------|------------|
| | | M-1 | M-2 | M-3 |
| S = Peso de la muestra SSS | g | 372.4 | 380.24 | 380.91 |
| A = Peso de la muestra secada al horno | g | 371.67 | 364.22 | 370.63 |
| Porcentaje de absorción (%) | % | 0.2 | 4.4 | 2.8 |
| Promedio | % | 2.5 | | |



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



**PESO UNITARIO DE AGREGADO FINO
ASTM C 29**

PROYECTO : ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LA MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE
SOLICITANTE : LUIS REYNA JUAN JOSE
SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA
UBICACIÓN : TRUJILLO - LA LIBERTAD
MUESTRA : AGREGADO FINO

| PESO UNITARIO SECO SUELTO | | | | |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------|-------------|
| DESCRIPCIÓN | UND | MUESTRAS | | |
| | | M-1 | M-2 | M-3 |
| Peso de molde | kg | 1.202 | 1.202 | 1.202 |
| Altura del molde | m | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| Diametro del molde | m | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| Radio del molde | m | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| Volumen del molde | m ³ | 0.01060 | 0.01060 | 0.01060 |
| Peso de molde + Muestra | kg | 19.372 | 19.443 | 19.323 |
| Peso Unitario Suelto (P.U.S.) | kg/m ³ | 1714 | 1720 | 1709 |
| Promedio | kg/m ³ | 1714 | | |
| Peso Unitario Suelto (P.U.S.) | 1714 | kg/m ³ | | |

| PESO UNITARIO SECO COMPACTADO | | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------|-------------|
| DESCRIPCIÓN | UND | MUESTRAS | | |
| | | M-1 | M-2 | M-3 |
| Peso de molde | kg | 1.202 | 1.202 | 1.202 |
| Altura del molde | m | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| Diametro del molde | m | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| Radio del molde | m | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| Volumen del molde | m ³ | 0.01060 | 0.01060 | 0.01060 |
| Peso de molde + Muestra | kg | 21.276 | 21.35 | 21.291 |
| Peso Unitario Compactado (P.U.C.) | kg/m ³ | 1893 | 1900 | 1895 |
| Promedio | kg/m ³ | 1896 | | |
| Peso Unitario Compactado (P.U.C.) | 1896 | kg/m ³ | | |



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



HUMEDAD DE AGREGADO FINO
ASTM C 566

PROYECTO : ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LA MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE
SOLICITANTE : LUIS REYNA JUAN JOSE
SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA
UBICACIÓN : TRUJILLO - LA LIBERTAD
MUESTRA : AGREGADO FINO

| CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO | | | | |
|--|------------|------------|------------|------------|
| DESCRIPCIÓN | UND | MUESTRAS | | |
| | | M-1 | M-2 | M-3 |
| Peso de tara | g | 70.45 | 72.74 | 74.15 |
| Peso de la muestra natural | g | 142.96 | 140.67 | 139.26 |
| Peso de muestra seca + Tara | g | 211.94 | 211.87 | 211.64 |
| Contenido de humedad | % | 1.0 | 1.1 | 1.3 |
| Promedio | % | 1.1 | | |
| Contenido de humedad: | 1.1 | % | | |




Juan Pablo Barralón Barralón Villanueva
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 197384



| ARENA EQUIVALENTE NTP 339.146 | |
|----------------------------------|---|
| PROYECTO | "ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICO MECANICA DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE" |
| SOLICITANTE | LUIS REYNA JUAN JOSE SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA |
| UBICACIÓN | TRUJILLO-LA LIBERTAD |

| Muestra | 1 | 2 | 3 |
|------------------|-------|-------|-------|
| Inicio | 10:30 | 10:45 | 10:55 |
| Termino | 11:00 | 11:15 | 11:25 |
| Lectura total | 4.0 | 4.0 | 4.0 |
| Lectura de arena | 3.8 | 3.8 | 3.8 |
| Eq. Arena (%) | 95.0 | 95.0 | 95.0 |
| Eq. Arena (%) | 95.0 | | |



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



PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS MTC E 210 { ASTM D - 5821 }

| | |
|--------------------|---|
| PROYECTO | "ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICO MECANICA DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE" |
| SOLICITANTE | LUIS REYNA JUAN JOSE SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA |
| UBICACIÓN | TRUJILLO-LA LIBERTAD |

| Con Una Cara de Fractura | | A | B | C | D | E | |
|--------------------------|----------|----------|------|-------|---------------|--------|---------|
| Tamaño del Agregado | Pasa | Retenido | (g) | (g) | ((B / A)*100) | (%) | (C x D) |
| 2" | 1 / 1/2" | | | | | | |
| 1 / 1/2" | 1" | | | | | | |
| 1" | 3 / 4 " | | 1500 | 184.0 | 0.12 | 27.20 | 3.34 |
| 3 / 4 " | 1/2" | | 1200 | 204.0 | 0.17 | 35.90 | 6.10 |
| 1/2" | 3 / 8" | | 300 | 75.0 | 0.25 | 36.90 | 9.23 |
| Total | | | 3000 | 463.0 | 0.54 | 100.00 | 18.66 |

Porcentaje de Partículas con una Cara Fracturada {Total E / Total D} 18.7%

| Con Dos Caras de Fractura | | A | B | C | D | E | |
|---------------------------|----------|----------|------|--------|---------------|--------|---------|
| Tamaño del Agregado | Pasa | Retenido | (g) | (g) | ((B / A)*100) | (%) | (C x D) |
| 2" | 1 / 1/2" | | | | | | |
| 1 / 1/2" | 1" | | | | | | |
| 1" | 3 / 4 " | | 1500 | 258.0 | 0.17 | 27.20 | 4.68 |
| 3 / 4 " | 1/2" | | 1200 | 105.0 | 0.09 | 35.90 | 3.14 |
| 1/2" | 3 / 8" | | 300 | 79.0 | 0.26 | 36.90 | 9.72 |
| Total | | | 5000 | 2587.5 | 0.52 | 100.00 | 17.54 |

Porcentaje de Partículas con dos o mas Caras de Fractura {Total E / Total D} 17.5%

Partículas con una ó mas caras de Fractura 36.2%



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



DETERMINACION DE PARTICULAS CHATAS, ALARGADAS, ó PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS EN AGREGADOS GRANULARES
ASTM D - 4791

| | |
|--------------------|---|
| PROYECTO | "ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICO MECANICA DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE" |
| SOLICITANTE | LUIS REYNA JUAN JOSE SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA |
| UBICACIÓN | TRUJILLO |

| MATERIAL | | AGREGADO GRUESO | | | PARTÍCULAS CHATAS | | PARTÍCULAS ALARGADAS | | PARTÍCULAS CHATAS y ALARGADAS | | PARTÍCULAS NI CHATAS, NI ALARGADAS | |
|--|----------|-----------------|-------------|--------|-------------------|------|----------------------|------|-------------------------------|------|------------------------------------|-------|
| TAMIZ | Abertura | PESO (A) | RETIENE (C) | PASA | PESO (E) | (%) | PESO (F) | (%) | PESO (G) | (%) | PESO (H) | (%) |
| | | (g) | (%) | (%) | (g) | | (g) | | (g) | | (g) | |
| (pulg) | (mm) | | | | | | | | | | | |
| 3" | 76.200 | | | | | | | | | | | |
| 2" | 50.800 | | | | | | | | | | | |
| 1 1/2" | 38.100 | | | | | | | | | | | |
| 1" | 25.400 | | | 100.00 | | | | | | | | |
| 3/4" | 19.050 | 3485.0 | 1.48 | 98.70 | 78.00 | 0.63 | 54.15 | 0.44 | 45.10 | 0.37 | 3263.38 | 26.56 |
| 1/2" | 12.700 | 4929.5 | 39.20 | 59.60 | 69.00 | 0.56 | 58.20 | 0.47 | 48.05 | 0.39 | 4762.26 | 38.75 |
| 3/8" | 8.750 | 3874.5 | 32.20 | 27.14 | 70.94 | 0.58 | 75.00 | 0.61 | 43.05 | 0.35 | 3673.90 | 29.90 |
| 1/4" | 6.350 | 4174.9 | 30.70 | 9.31 | | | | | | | | |
| Nº 04 | 4.760 | 1351.6 | 26.80 | 0.34 | | | | | | | | |
| Peso Total de la Muestra (B) | | 17 815.4 | | | | | | | | | | |
| Peso de la Muestra de Ensayo (D) (Retenido 3/8") | | 12 289.0 | | | | | | | | | | |

RESULTADOS
(Promedio Ponderado)

| | |
|-------------------------------|---------------|
| PARTICULAS CHATAS | 1.77 % |
| PARTICULAS ALARGADAS | 1.52 % |
| PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS | 1.11 % |



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



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

| | |
|--------------------|---|
| PROYECTO | "ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICO MECANICA DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE" |
| SOLICITANTE | LUIS REYNA JUAN JOSE SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA |
| UBICACIÓN | TRUJILLO-LA LIBERTAD |

| DATOS | 1 | 2 |
|----------------------------------|------|-----|
| CANTIDAD DE MUESTRA # | 50 | 50 |
| CANTIDAD DE CEMENTO ASFALTICO ml | 100 | 100 |
| TEMPERATURA DE CA (°C) | 140 | 140 |
| # DE PARTICULAS RECUBIERTAS | 49 | 49 |
| # DE PARTICULAS NO RECUBIERTAS | 1 | 1 |
| ADHERENCIA (%) | 98 | 98 |
| ADHERENCIA (%) | 98.0 | |



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



DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS POR MEDIO DE SO₄Mg
ASTM - C88 (MTC E 209)

| | |
|--------------------|---|
| PROYECTO | "ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICO MECANICA DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE" |
| SOLICITANTE | LUIS REYNA JUAN JOSE SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA |
| UBICACIÓN | TRUJILLO-LA LIBERTAD |

| AGREGADO GRUESO | | | | | | | |
|-----------------|--------|---------------|----------------------|---------|------------------------|---------------------|------------------------|
| % PASA | % RET | Nº RECIPIENTE | PESOS DE ENSAYO (gr) | | % DE PÉRDIDA DE ENSAYO | ESCALONADO ORIGINAL | % DE PÉRDIDA CORREGIDA |
| | | | ANTES | DESPUÉS | | | |
| 2" | 1 1/2" | D-1 | - | - | - | - | - |
| 1 1/2" | 1" | D-2 | - | - | - | - | - |
| 1" | 3/4" | D-3 | 1500.0 | 1356.0 | 9.60 | 13 | 1.25 |
| 3/4" | 1/2" | D-4 | 1000.0 | 956.2 | 4.38 | 15 | 0.66 |
| 1/2" | 3/8" | D-5 | 500.0 | 469.2 | 6.15 | 10 | 0.62 |
| 3/8" | Nº4 | D-6 | 300.0 | 284.0 | 5.33 | 21 | 1.12 |
| | | | 3300.0 | 3065.4 | TOTAL : | 59.00 | 3.65 |

| AGREGADO FINO | | | | | | | |
|---------------|-------|---------------|----------------------|---------|------------------------|---------------------|------------------------|
| % PASA | % RET | Nº RECIPIENTE | PESOS DE ENSAYO (gr) | | % DE PÉRDIDA DE ENSAYO | ESCALONADO ORIGINAL | % DE PÉRDIDA CORREGIDA |
| | | | ANTES | DESPUÉS | | | |
| 3/8" | Nº4 | 1A | 100.0 | 92.3 | 7.68 | 11 | 0.84 |
| Nº4 | Nº8 | 2A | 100.0 | 89.3 | 10.68 | 21 | 2.24 |
| Nº8 | Nº16 | 5A | 100.0 | 86.7 | 13.35 | 17 | 2.27 |
| Nº16 | Nº30 | 3A | 100.0 | 87.3 | 12.66 | 19 | 2.41 |
| Nº30 | Nº50 | 4A | 100.0 | 85.2 | 14.77 | 11 | 1.62 |
| Nº50 | Nº100 | | | | | 9 | 0.00 |
| Nº100 | -- | | | | | 12 | 0.00 |
| TOTAL : | | | | | | 0.00 | 9.38 |



Jorge Alejandro Barralón Villaseña
ING. DE MATERIALES
R. CIP. N° 197384



DESGASTE ABRASIVO DE LOS ANGELES
ASTM C - 131

| | |
|--------------------|---|
| PROYECTO | "ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICO MECANICA DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE" |
| SOLICITANTE | LUIS REYNA JUAN JOSE SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA |
| UBICACIÓN | TRUJILLO |

| | |
|---|-------|
| PRUEBAS | 1 |
| GRADACIÓN USADA | A |
| Nb. ESFERAS | 12 |
| Nb. REVOLUCIONES | 500 |
| Pa = PESO MUESTRA SECA ANTES DEL ENSAYO, G.M.S. | 5,000 |
| Pb = PESO MUESTRA SECA DESPUES DEL ENSAYO Y DESPUES DE LAVAR SOBRE TAMIZ No. 12 | 3,947 |
| Pa - Pb = PERDIDA | 1,053 |
| % DESGASTE = $-\frac{Pa - Pb}{Pa} \times 100$ | 21.1% |
| ESPECIFICACIÓN : MENOR DE | 40% |

CUMPLE SI NO

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



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



ENSAYO DE MARSHALL
ASTM D-1559

PROYECTO : ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.
UBICACION : TRUJILLO - LA LIBERTAD
MATERIAL : MEZCLA ASFÁLTICA - MÉTODO B - R1
AUTORES : LUIS REYNA JUAN JOSE
SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA

Determinación de la Cantidades Necesarias de Agregado y Asfalto

| Peso total de la Briqueta: | | 1200 | gr | | |
|----------------------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|
| ASFALTO | | AGREGADOS | | | |
| % de Asfalto | Asfalto (gr) | 45.0% | 0.0% | 0.0% | 55.0% |
| | | Grava de 3/4" (gr) | Grava de 1/2" (gr) | Grava de 3/8" (gr) | Arena (gr) |
| 5.00% | 60 | 513.00 | 0.00 | 0.00 | 627.00 |
| 5.50% | 66 | 510.30 | 0.00 | 0.00 | 623.70 |
| 6.00% | 72 | 507.60 | 0.00 | 0.00 | 620.40 |
| 6.50% | 78 | 504.90 | 0.00 | 0.00 | 617.10 |
| 7.00% | 84 | 502.20 | 0.00 | 0.00 | 613.80 |
| 7.50% | 90 | 499.50 | 0.00 | 0.00 | 610.50 |
| 8.00% | 96 | 496.80 | 0.00 | 0.00 | 607.20 |

Determinación del Espesor, Densidad Real y Gravedad Especifica de Bulk de la Mezcla Compactada

| ESPESOR y/o ALTURA DE LAS PROBETAS "BRIQUETAS" | | | | | |
|--|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------|
| % de Asfalto | Altura de las Probetas o Briquetas | | | | Promedio (cm) |
| | H ₁ (cm) | H ₂ (cm) | H ₃ (cm) | H ₄ (cm) | |
| 5.00% | 6.51 | 6.5 | 6.52 | 6.52 | 6.51 |
| 5.50% | 6.59 | 6.66 | 6.58 | 6.56 | 6.60 |
| 6.00% | 6.73 | 6.74 | 6.81 | 6.77 | 6.76 |
| 6.50% | 7.03 | 6.98 | 6.94 | 6.95 | 6.98 |
| 7.00% | 6.51 | 6.49 | 6.48 | 6.49 | 6.49 |
| 7.50% | 7.21 | 7.2 | 7.23 | 7.2 | 7.21 |
| 8.00% | 6.86 | 6.85 | 6.86 | 6.84 | 6.85 |

| DENSIDAD REAL Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE BULK DE LA MEZCLA COMPACTADA | | | | | |
|---|----------------|-----------------|------------------|------------------------|-----------------|
| % Asfalto | M _S | M _{SS} | M _{SUM} | G (kg/m ³) | G _{mb} |
| 5.00% | 1152 | 1189 | 684.9 | 2285.26 | 2.285 |
| 5.50% | 1172 | 1188 | 675.9 | 2288.62 | 2.289 |
| 6.00% | 1146 | 1183 | 683.4 | 2293.84 | 2.294 |
| 6.50% | 1139 | 1193 | 694.5 | 2284.85 | 2.285 |
| 7.00% | 1141 | 1184 | 683.1 | 2277.90 | 2.278 |
| 7.50% | 1159 | 1192 | 681.2 | 2268.99 | 2.269 |
| 8.00% | 1149 | 1198 | 685.7 | 2242.83 | 2.243 |

Determinación de la Estabilidad y Flujo

| % Asfalto | Lectura del Dial | Estabilidad libras | Índice de Flujo (PULG) | Índice de Flujo (mm) |
|-----------|------------------|--------------------|------------------------|----------------------|
| 5.00% | 52 | 3.81 | 0.126 | 3.21 |
| 5.50% | 27 | 5.42 | 0.185 | 4.69 |
| 6.00% | 90 | 7.59 | 0.415 | 10.54 |
| 6.50% | 126 | 5.05 | 0.264 | 6.71 |
| 7.00% | 126 | 4.82 | 0.321 | 8.16 |
| 7.50% | 138 | 4.29 | 0.313 | 7.94 |
| 8.00% | 152 | 3.97 | 0.283 | 7.18 |



Jorge Alejandro Estrella Vitorica
ING. DE MATERIALES
R. C. P. N° 197394



ENSAYO DE MARSHALL
ASTM D-1559

PROYECTO ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.

UBICACION TRUJILLO - LA LIBERTAD

MATERIAL MEZCLA ASFÁLTICA METODO B

R1

AUTORES LUIS REYNA JUAN JOSE

SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA

DOSEIFICACION MARSHALL

| Gravedad Específica en Agregados Gruesos | | Gravedad Específica en Agregados Fines | | Gravedad Específica del Cemento Asfáltico | |
|--|----------|--|----------|---|---|
| G_m | G_{mm} | G_m | G_{ms} | Tipos de cemento Asfáltico según el Grado de Plastificación | Gravedad Específica del Cemento Asfáltico |
| 3.630 | 3.630 | 3.680 | 3.780 | Densidad del cemento Asfáltico (Kg/m ³) | 60/70 |
| 2.630 | 2.630 | 1.360 | 1.360 | Gravedad Específica del Cemento Asfáltico | 10.33 0000 |
| 2.640 | 2.640 | 1.540 | 1.540 | % de Agregado Fino | $C_p = 1.0230$ |
| 43.00% | 43.00% | 55.00% | 55.00% | | |
| $G_{pb} = 2.5682$ | | $G_{ms} = 2.6164$ | | | |
| Gravedad Específica Seca Bulk de la Combinación de Agregados | | Gravedad Específica Seca Bulk de la Combinación de Agregados | | | |

2.59

| % de Asfalto | Altura de las Briquetas (cm) | Peso de las Briquetas | | | | Gravedad Específica de Bulk de la Mezcla Compactada G_{mb} | Gravedad Específica Teórica Máxima G_{mm} | Gravedad Específica Efectiva del Agregado G_{se} | Porcentaje de Absorción P_a | Porcentaje de Asfalto Efectivo P_{ae} | % Vacíos en el Agregado Mineral VMA | % Vacíos de Mezcla Compactada a VTM | % Vacíos de Aire en la Mezcla Compactada a VTM | % Vacíos de Llenado de Asfalto VFA | Estabilidad Marshall | | | Indice de Rigidez | | |
|--------------|------------------------------|-----------------------|---------------|-----------------|------------------------------|--|---|--|-------------------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|--|------------------------------------|----------------------|------------------|----------------|-------------------|----------------------|------------------------------|
| | | M_b (gr) | M_{b5} (gr) | M_{b100} (gr) | Volúmenes (cm ³) | | | | | | | | | | Densidad Real G | Lección del Dial | Estabilidad KN | | Factor de Corrección | Estabilidad de Corrección KN |
| 5.0% | 6.510 | 1152.000 | 1189.000 | 654.900 | 504.100 | 2.285 261 | 2.408 | 2.592 | 0.371 | 4.647 | 15.476 | 5.115 | 66.945 | 52.000 | 3.810 | 0.938 | 3.210 | 0.185 | 19.34789255 | |
| 5.0% | 6.510 | 1152.000 | 1189.000 | 654.900 | 504.100 | 2.285 261 | 2.408 | 2.592 | 0.371 | 4.647 | 15.476 | 5.115 | 66.945 | 52.000 | 3.810 | 0.938 | 3.210 | 0.185 | 19.34789255 | |
| 6.0% | 6.560 | 1146.000 | 1183.000 | 653.400 | 495.600 | 2.293 855 | 2.374 | 2.592 | 0.371 | 4.651 | 16.016 | 3.859 | 78.846 | 90.000 | 7.590 | 1.093 | 7.653 | 10.540 | 0.264 | 28.8173242 |
| 6.0% | 6.980 | 1139.000 | 1193.000 | 654.100 | 495.300 | 2.284 855 | 2.358 | 2.592 | 0.371 | 6.153 | 16.810 | 3.094 | 81.597 | 136.000 | 5.050 | 0.965 | 4.873 | 6.710 | 0.321 | 15.16917686 |
| 7.0% | 6.400 | 1141.000 | 1184.000 | 653.100 | 500.900 | 2.277 900 | 2.342 | 2.592 | 0.371 | 6.655 | 17.509 | 2.719 | 84.472 | 136.000 | 4.820 | 1.003 | 4.834 | 8.160 | 0.321 | 15.04843354 |
| 7.0% | 7.210 | 1159.000 | 1192.000 | 651.200 | 510.800 | 2.268 990 | 2.326 | 2.592 | 0.371 | 7.157 | 18.276 | 2.434 | 86.653 | 138.000 | 4.390 | 0.886 | 3.801 | 7.940 | 0.313 | 12.15917177 |
| 8.0% | 6.850 | 1149.000 | 1198.000 | 655.700 | 512.300 | 2.242 826 | 2.310 | 2.592 | 0.371 | 7.638 | 19.649 | 2.890 | 85.291 | 132.000 | 3.970 | 0.845 | 3.355 | 7.180 | 0.283 | 11.86741838 |





ENSAYO DE MARSHALL
ASTM D-1559

PROYECTO : ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.
UBICACION : TRUJILLO - LA LIBERTAD
MATERIAL : MEZCLA ASFÁLTICA - MÉTODO B - R2
AUTORES : LUIS REYNA JUAN JOSE
SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA

Determinación de la Cantidades Necesarias de Agregado y Asfalto

| Peso total de la Briqueta: | | 1200 | gr | | |
|----------------------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|
| ASFALTO | | AGREGADOS | | | |
| % de Asfalto | Asfalto (gr) | 45.0% | 0.0% | 0.0% | 55.0% |
| | | Grava de 3/4" (gr) | Grava de 1/2" (gr) | Grava de 3/8" (gr) | Arena (gr) |
| 5.00% | 60 | 513.00 | 0.00 | 0.00 | 627.00 |
| 5.50% | 66 | 510.30 | 0.00 | 0.00 | 623.70 |
| 6.00% | 72 | 507.60 | 0.00 | 0.00 | 620.40 |
| 6.50% | 78 | 504.90 | 0.00 | 0.00 | 617.10 |
| 7.00% | 84 | 502.20 | 0.00 | 0.00 | 613.80 |
| 7.50% | 90 | 499.50 | 0.00 | 0.00 | 610.50 |
| 8.00% | 96 | 496.80 | 0.00 | 0.00 | 607.20 |

Determinación del Espesor, Densidad Real y Gravedad Especifica de Bulk de la Mezcla Compactada

| ESPESOR y/o ALTURA DE LAS PROBETAS "BRIQUETAS" | | | | | |
|--|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------|
| % de Asfalto | Altura de las Probetas o Briquetas | | | | Promedio (cm) |
| | H ₁ (cm) | H ₂ (cm) | H ₃ (cm) | H ₄ (cm) | |
| 5.00% | 6.81 | 6.82 | 6.84 | 6.81 | 6.82 |
| 5.50% | 6.92 | 6.93 | 6.95 | 6.93 | 6.93 |
| 6.00% | 6.73 | 6.73 | 6.74 | 6.72 | 6.73 |
| 6.50% | 6.59 | 6.58 | 6.57 | 6.59 | 6.58 |
| 7.00% | 6.84 | 6.85 | 6.86 | 6.82 | 6.84 |
| 7.50% | 6.48 | 6.49 | 6.47 | 6.48 | 6.48 |
| 8.00% | 6.82 | 6.81 | 6.83 | 6.84 | 6.83 |

| DENSIDAD REAL Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE BULK DE LA MEZCLA COMPACTADA | | | | | |
|---|----------------|-----------------|------------------|------------------------|-----------------|
| % Asfalto | M _s | M _{SS} | M _{SUM} | G (kg/m ³) | G _{mb} |
| 5.00% | 1129 | 1185 | 687.8 | 2270.72 | 2.271 |
| 5.50% | 1152 | 1178 | 671.2 | 2273.09 | 2.273 |
| 6.00% | 1171 | 1197 | 682.7 | 2276.88 | 2.277 |
| 6.50% | 1143 | 1186 | 683.6 | 2275.08 | 2.275 |
| 7.00% | 1158 | 1195 | 684.8 | 2269.70 | 2.270 |
| 7.50% | 1144 | 1193 | 687.2 | 2261.76 | 2.262 |
| 8.00% | 1143 | 1181 | 672.8 | 2249.11 | 2.249 |

Determinación de la Estabilidad y Flujo

| % Asfalto | Lectura del Dial | Estabilidad KN | Indice de Flujo (PULG) | Indice de Flujo (mm) |
|-----------|------------------|----------------|------------------------|----------------------|
| 5.00% | 52 | 3.25 | 0.178 | 4.51 |
| 5.50% | 27 | 4.57 | 0.241 | 6.12 |
| 6.00% | 90 | 6.45 | 0.380 | 9.64 |
| 6.50% | 126 | 4.97 | 0.309 | 7.84 |
| 7.00% | 126 | 4.69 | 0.292 | 7.42 |
| 7.50% | 138 | 4.12 | 0.280 | 7.11 |
| 8.00% | 152 | 3.56 | 0.248 | 6.29 |



Jorge Alejandro Barrientos Vitorica
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 197384



ENSAYO DE MARSHALL
ASTM D-1559

PROYECTO ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.
UBICACION TRUJILLO - LA LIBERTAD
MATERIAL MEZCLAS ASFÁLTICAS - METODO B - R2
AUTORES LUIS REYNALUAN JOSE
SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA

DOSEIFICACION MARSHALL

| | | | | | |
|--|--------|--|----------|--|-------|
| Gravedad Específica en Agregados: G_{mm} | 2.6520 | Gravedad Específica en Agregados Fines: | | Gravedad Específica del Cemento Anfibolico | 68.70 |
| Gravedad Específica Seca Aparente: G_{sp} | 2.6350 | Gravedad Específica Seca Aparente | G_{sp} | 2.5889 | |
| Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk: G_{sb} | 2.6110 | Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk | G_{sb} | 2.5160 | |
| Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca de Bulk: G_{ss} | 2.6110 | Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca de Bulk | G_{ss} | 2.5440 | |
| % de Agregado Grueso: $\%P_m$ | 45.00% | % de Agregado Fino | $\%P_m$ | 55.00% | |

| | |
|---|--------------------|
| Gravedad Específica Seca Bulk de la Combinación de Agregados: | $G_{1.5} = 2.5682$ |
| Gravedad Específica Seca Aparente de la Combinación de Agregados: | $G_{sp} = 2.0164$ |

| % de Altura de las Britadeiras o (cm) | Peso de las Britadeiras | | | Volumen (cm ³) | Densidad Real (g/cm ³) | Gravedad Específica Teórica Máxima G_{mm} | Gravedad Específica Efectiva del Agregado G_e | Gravedad Específica de Acolado Efectivo P_a | Porcentaje de Acolado Efectivo P_a | % Vacíos en el Agregado Mineral VMA | % Vacíos de Aire en la Mezcla Compactada a VTM | % Vacíos de Llenado de Arzillo VFA | Estabilidad Marshall | | | Índice de Flujo (mm) | Índice de Flujo (pulg) | Ind. Rigidez |
|---------------------------------------|-------------------------|---------------|----------------|----------------------------|------------------------------------|---|---|---|--------------------------------------|-------------------------------------|--|------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|--------------------|----------------------|------------------------|--------------|
| | M_5 (gr) | M_{50} (gr) | M_{100} (gr) | | | | | | | | | | Estabilidad a Creación KN | Estabilidad a Lectura del Dial KN | Factor de Creación | | | |
| 5.0% | 6.530 | 1128.000 | 1185.000 | 467.000 | 2.70.716 | 3.408 | 3.593 | 0.371 | 4.437 | 15.993 | 5.697 | 54.131 | 3.250 | 3.619 | 0.938 | 4.510 | 0.341 | 13.4576441 |
| 5.5% | 6.840 | 1123.000 | 1172.000 | 471.200 | 2.718.081 | 3.493 | 3.592 | 0.371 | 5.149 | 14.342 | 4.641 | 59.732 | 4.570 | 3.789 | 0.838 | 4.120 | 0.340 | 9.982320948 |
| 6.0% | 6.730 | 1171.000 | 1197.000 | 462.700 | 2.727.000 | 3.374 | 3.592 | 0.371 | 5.457 | 16.638 | 4.104 | 75.140 | 4.550 | 4.469 | 1.003 | 6.440 | 0.340 | 20.949462421 |
| 6.5% | 6.580 | 1143.000 | 1186.000 | 463.600 | 2.750.000 | 3.338 | 3.592 | 0.371 | 6.153 | 17.174 | 3.118 | 79.517 | 4.970 | 4.396 | 0.925 | 7.840 | 0.322 | 16.41775642 |
| 7.0% | 6.440 | 1138.000 | 1185.000 | 464.800 | 2.700.000 | 3.342 | 3.592 | 0.371 | 6.655 | 17.798 | 3.660 | 82.605 | 4.660 | 4.704 | 1.003 | 4.704 | 0.322 | 16.102872444 |
| 7.5% | 6.480 | 1144.000 | 1193.000 | 487.200 | 2.620.000 | 3.326 | 3.592 | 0.371 | 7.157 | 18.538 | 2.355 | 85.240 | 4.120 | 0.886 | 0.886 | 3.450 | 0.340 | 13.04031729 |
| 8.0% | 6.830 | 1143.000 | 1181.000 | 472.800 | 2.490.000 | 3.310 | 3.592 | 0.371 | 7.658 | 19.434 | 2.611 | 86.463 | 3.560 | 3.008 | 0.845 | 6.290 | 0.348 | 12.14757373 |





ENSAYO DE MARSHALL
ASTM D-1559

PROYECTO : ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.
UBICACION : TRUJILLO - LA LIBERTAD
MATERIAL : MEZCLA ASFALTICA - MÉTODO B - R3
AUTORES : LUIS REYNA JUAN JOSE
SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA

Determinación de la Cantidades Necesarias de Agregado y Asfalto

| ASFALTO | | AGREGADOS | | | |
|--------------|--------------|------------------------------------|--------------------|--------------------|------------|
| % de Asfalto | Asfalto (gr) | Peso total de la Briqueta: 1200 gr | | | Arena (gr) |
| | | 45.0% | 0.0% | 0.0% | |
| | | Grava de 3/4" (gr) | Grava de 1/2" (gr) | Grava de 3/8" (gr) | |
| 5.00% | 60 | 513.00 | 0.00 | 0.00 | 627.00 |
| 5.50% | 66 | 510.30 | 0.00 | 0.00 | 623.70 |
| 6.00% | 72 | 507.60 | 0.00 | 0.00 | 620.40 |
| 6.50% | 78 | 504.90 | 0.00 | 0.00 | 617.10 |
| 7.00% | 84 | 502.20 | 0.00 | 0.00 | 613.80 |
| 7.50% | 90 | 499.50 | 0.00 | 0.00 | 610.50 |
| 8.00% | 96 | 496.80 | 0.00 | 0.00 | 607.20 |

Determinación del Espesor, Densidad Real y Gravedad Especifica de Bulk de la Mezcla Compactada

| ES PESOR y/o ALTURA DE LAS PROBETAS "BRIQUETAS" | | | | | |
|---|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------|
| % de Asfalto | Altura de las Probetas o Briquetas | | | | Promedio (cm) |
| | H ₁ (cm) | H ₂ (cm) | H ₃ (cm) | H ₄ (cm) | |
| 5.00% | 6.69 | 6.68 | 6.67 | 6.66 | 6.68 |
| 5.50% | 6.82 | 6.66 | 6.58 | 6.56 | 6.66 |
| 6.00% | 6.59 | 6.58 | 6.56 | 6.58 | 6.58 |
| 6.50% | 6.44 | 6.45 | 6.48 | 6.45 | 6.46 |
| 7.00% | 6.62 | 6.61 | 6.64 | 6.65 | 6.63 |
| 7.50% | 6.86 | 6.85 | 6.84 | 6.85 | 6.85 |
| 8.00% | 6.91 | 6.92 | 6.94 | 6.91 | 6.92 |

| DENSIDAD REAL Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE BULK DE LA MEZCLA COMPACTADA | | | | | |
|---|----------------|------------------|------------------|------------------------|-----------------|
| % Asfalto | M _S | M _{SSS} | M _{SUM} | G (kg/m ³) | G _{mb} |
| 5.00% | 1161 | 1188 | 679.8 | 2284.53 | 2.285 |
| 5.50% | 1179 | 1198 | 684.5 | 2296.01 | 2.296 |
| 6.00% | 1142 | 1185 | 689.1 | 2302.88 | 2.303 |
| 6.50% | 1158 | 1191 | 687.5 | 2299.90 | 2.300 |
| 7.00% | 1173 | 1198 | 684.2 | 2282.99 | 2.283 |
| 7.50% | 1150 | 1192 | 685.2 | 2269.14 | 2.269 |
| 8.00% | 1142 | 1195 | 685.3 | 2240.53 | 2.241 |

Determinación de la Estabilidad y Flujo

| % Asfalto | Lectura del Dial | Estabilidad KN | Indice de Flujo (PULG) | Indice de Flujo (mm) |
|-----------|------------------|----------------|------------------------|----------------------|
| 5.00% | 52 | 3.19 | 0.181 | 4.61 |
| 5.50% | 27 | 4.68 | 0.269 | 6.83 |
| 6.00% | 90 | 7.15 | 0.375 | 9.52 |
| 6.50% | 126 | 5.02 | 0.321 | 8.16 |
| 7.00% | 126 | 4.96 | 0.293 | 7.44 |
| 7.50% | 138 | 4.15 | 0.278 | 7.05 |
| 8.00% | 152 | 3.24 | 0.246 | 6.26 |



Jorge Alejandro Barrientos Vitorica
ING. DE MATERIALES
R. CIP. N° 197384



ENSAYO DE MARSHALL
ASTM D-1559

PROYECTO ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE
UBICACION TRUJILLO - LA LIBERTAD
MATERIAL MEZCLA ASFÁLTICA - METODO B - R3
AUTORES LUIS REYNA JUAN JOSE
SILVA TERRORES DEBORA ALEXANDRA

| Gravidad Específica en Agregados Finos | | Gravidad Específica en Agregados Gruesos | | Gravidad Específica del Cemento Albitino | |
|--|---------------------|--|---------------------|--|---------------------|
| Gravidad Específica | Gravidad Específica | Gravidad Específica | Gravidad Específica | Gravidad Específica | Gravidad Específica |
| G_{se} | G_{sg} | G_{se} | G_{sg} | G_{se} | G_{sg} |
| 2.6320 | 2.6320 | 2.5880 | 2.5880 | 40.70 | 40.70 |
| 2.6150 | 2.6150 | 2.5160 | 2.5160 | 102.0000 | 102.0000 |
| 2.6410 | 2.6410 | 2.5440 | 2.5440 | | |
| 45.00% | 45.00% | 55.00% | 55.00% | | |

| Gravidad Específica Seca Aparte de la Combinación de Agregados | |
|--|----------|
| G_{sb} | G_{sa} |
| 2.5682 | 2.0164 |

2.59

| Nº de Asfalto o | Altura de las Briquetas (cm) | Peso de las Briquetas | | Volumen (cm ³) | Gravidad Específica de Bulk de la mezcla (Compactada) | Gravidad Específica Teórica Máxima | Gravidad Específica Efectiva del Agregado | Porcentaje de Asfalto Absorbido | Porcentaje de Asfalto Efectivo | % Vacíos Agregado Mineral | % Vacíos Agregado Mineral a VMA | % Vacíos de Líquidos en el Mezclado | Estabilidad Marshall | | | Índice de Flujo (mm) | Índice de Flujo (psig) | Ind. Rigidez |
|-----------------|------------------------------|-----------------------|---------------------|----------------------------|---|------------------------------------|---|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|----------------------|------------------|----------------|----------------------|------------------------|--------------|
| | | M ₁ (gr) | M ₂ (gr) | | | | | | | | | | M ₃ (gr) | Lección del Dato | Estabilidad KN | | | |
| 3.0% | 6.630 | 1161.000 | 1188.000 | 508.200 | 2.285000 | 2.403 | 2.592 | 0.371 | 4.647 | 15.476 | 5.115 | 66.945 | 52.000 | 3.190 | 0.938 | 3.992 | 4.610 | 11.1272383 |
| 3.5% | 6.660 | 1179.000 | 1198.000 | 684.500 | 2.296000 | 2.391 | 2.592 | 0.371 | 5.149 | 15.516 | 3.981 | 74.339 | 27.000 | 4.680 | 0.829 | 3.880 | 6.830 | 10.35134819 |
| 6.0% | 6.580 | 1142.000 | 1185.000 | 689.100 | 2.302884 | 2.304000 | 2.592 | 0.371 | 5.651 | 15.706 | 3.009 | 89.839 | 90.000 | 7.150 | 1.003 | 7.171 | 9.520 | 2.32388378 |
| 6.5% | 6.460 | 1158.000 | 1191.000 | 687.500 | 2.299901 | 2.300000 | 2.592 | 0.371 | 6.153 | 16.864 | 2.458 | 84.890 | 126.000 | 5.020 | 0.965 | 4.844 | 8.160 | 16.5383709 |
| 7.0% | 6.630 | 1172.000 | 1198.000 | 684.200 | 2.283000 | 2.312 | 2.592 | 0.371 | 6.655 | 17.327 | 2.503 | 83.342 | 126.000 | 4.960 | 1.003 | 4.975 | 7.440 | 16.9842416 |
| 7.5% | 6.830 | 1150.000 | 1192.000 | 685.300 | 2.269000 | 2.326 | 2.592 | 0.371 | 7.137 | 18.276 | 2.434 | 86.683 | 126.000 | 4.130 | 0.886 | 3.677 | 7.030 | 13.2426377 |
| 8.0% | 6.930 | 1142.000 | 1192.000 | 683.800 | 2.241000 | 2.340 | 2.592 | 0.371 | 7.638 | 19.721 | 2.977 | 84.902 | 132.000 | 3.240 | 0.843 | 2.738 | 6.260 | 11.1066937 |



MAN
LABORATORIO DE MATERIALES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
CALLE N° 10128A



ENSAYO DE MARSHALL
ASTM D-1559

PROYECTO : ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.
UBICACION : TRUJILLO - LA LIBERTAD
MATERIAL : MEZCLA ASFÁLTICA - MÉTODO B - R4
AUTORES : LUIS REYNA JUAN JOSE
SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA

Determinación de la Cantidades Necesarias de Agregado y Asfalto

| ASfalto | | AGREGADOS | | | |
|--------------|--------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------|
| % de Asfalto | Asfalto (gr) | Grava de | | | Arena (gr) |
| | | 45.0% 3/4" (gr) | 0.0% 1/2" (gr) | 0.0% 3/8" (gr) | |
| 5.00% | 60 | 513.00 | 0.00 | 0.00 | 627.00 |
| 5.50% | 66 | 510.30 | 0.00 | 0.00 | 623.70 |
| 6.00% | 72 | 507.60 | 0.00 | 0.00 | 620.40 |
| 6.50% | 78 | 504.90 | 0.00 | 0.00 | 617.10 |
| 7.00% | 84 | 502.20 | 0.00 | 0.00 | 613.80 |
| 7.50% | 90 | 499.50 | 0.00 | 0.00 | 610.50 |
| 8.00% | 96 | 496.80 | 0.00 | 0.00 | 607.20 |

Determinación del Espesor, Densidad Real y Gravedad Especifica de Bulk de la Mezcla Compactada

| % de Asfalto | Altura de las Probetas o Briquetas | | | | Promedio (cm) |
|--------------|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------|
| | H ₁ (cm) | H ₂ (cm) | H ₃ (cm) | H ₄ (cm) | |
| 5.00% | 6.82 | 6.81 | 6.83 | 6.81 | 6.82 |
| 5.50% | 6.93 | 6.91 | 6.92 | 6.94 | 6.93 |
| 6.00% | 6.61 | 6.63 | 6.64 | 6.61 | 6.62 |
| 6.50% | 6.58 | 6.59 | 6.57 | 6.55 | 6.57 |
| 7.00% | 6.69 | 6.68 | 6.67 | 6.66 | 6.68 |
| 7.50% | 6.72 | 6.71 | 6.73 | 6.71 | 6.72 |
| 8.00% | 6.85 | 6.83 | 6.82 | 6.81 | 6.83 |

| % Asfalto | M _s | M _{SSS} | M _{SUM} | G (kg/m ³) | G _{mb} |
|-----------|----------------|------------------|------------------|------------------------|-----------------|
| 5.00% | 1151 | 1187 | 681.2 | 2275.60 | 2.276 |
| 5.50% | 1159 | 1181 | 672.4 | 2278.80 | 2.279 |
| 6.00% | 1155 | 1186 | 680.2 | 2283.51 | 2.284 |
| 6.50% | 1146 | 1187 | 684.9 | 2282.41 | 2.282 |
| 7.00% | 1142 | 1189 | 687.8 | 2278.53 | 2.279 |
| 7.50% | 1157 | 1195 | 685.2 | 2269.52 | 2.270 |
| 8.00% | 1148 | 1188 | 681.4 | 2266.09 | 2.266 |

Determinación de la Estabilidad y Flujo

| % Asfalto | Lectura del Dial | Estabilidad libras | Indice de Flujo (PULG) | Indice de Flujo (mm) |
|-----------|------------------|--------------------|------------------------|----------------------|
| 5.00% | 52 | 4.69 | 0.185 | 4.71 |
| 5.50% | 27 | 5.41 | 0.221 | 5.61 |
| 6.00% | 90 | 7.45 | 0.364 | 9.24 |
| 6.50% | 126 | 5.21 | 0.289 | 7.35 |
| 7.00% | 126 | 4.53 | 0.276 | 7.02 |
| 7.50% | 138 | 4.07 | 0.246 | 6.24 |
| 8.00% | 152 | 3.56 | 0.208 | 5.28 |



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



ENSAYO DE MARSHALL
ASTM D-1559

PROYECTO ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.

UBICACION TRUJILLO - LA LIBERTAD

MATERIAL MEZCLA ASFÁLTICA ÓPTIMA - MÉTODO B-PROMEDIO

AUTORES LUIS REYNA JUAN JOSE

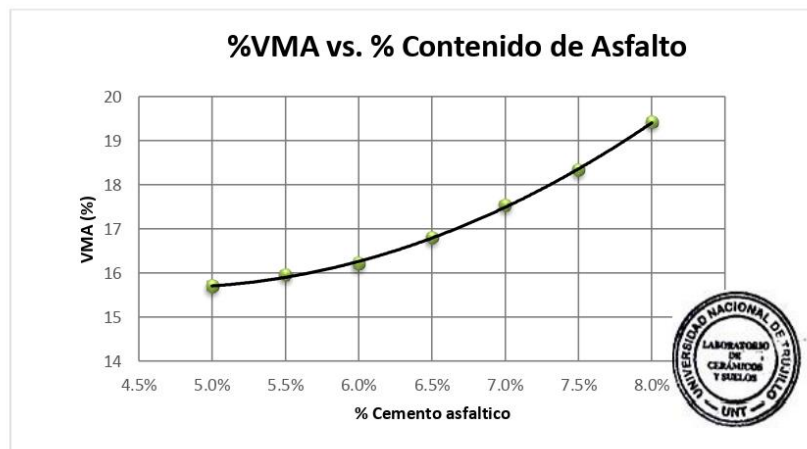
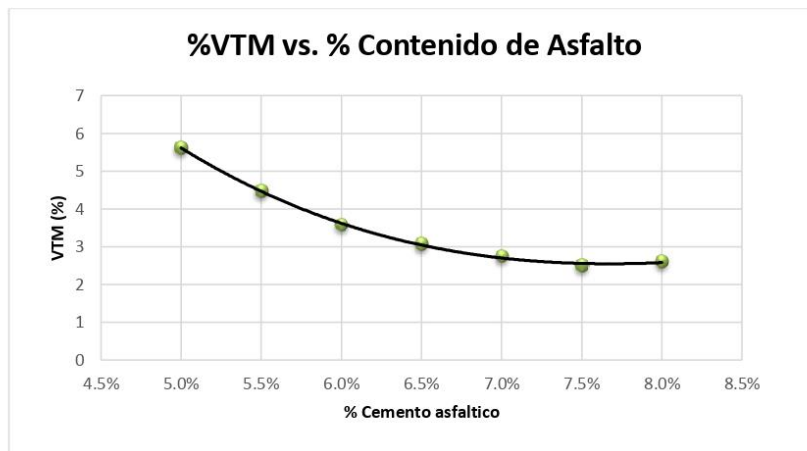
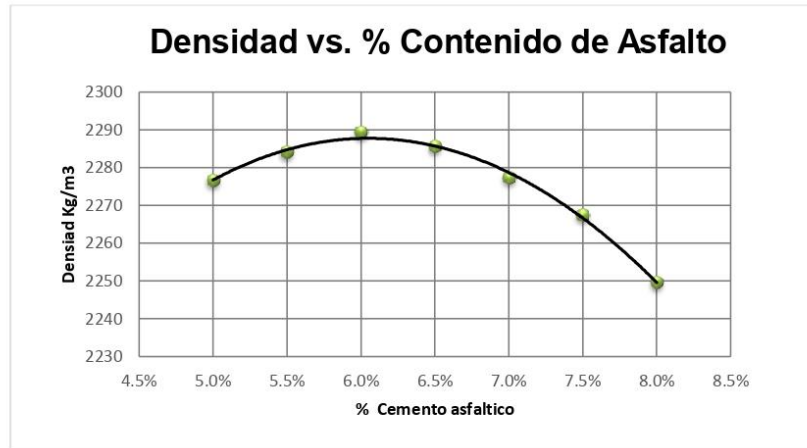
SILVA FERONES DEBORA, ALEXANDRA

| Gravedad Específica de Agregados: Cruasos | | Gravedad Específica de Agregados: Finos | | Gravedad Específica del Cemento Asfáltico | |
|--|--------------------|---|--------------------|--|----------------------|
| Gravedad Específica Seca aparente | $G_p = 2.6520$ | Gravedad Específica Seca aparente | $G_p = 2.5880$ | Tipo de cemento Asfáltico según el Grado de Penetración: | 85-100 |
| Gravedad Específica Saca Bulk | $G_p = 2.6510$ | Gravedad Específica Saca Bulk | $G_p = 2.5160$ | Densidad del cemento Asfáltico (kg/m ³): | 1027.0000 |
| Gravedad Específica Sumada Superfina + finos Saca de Bulk | $G_{100} = 2.6410$ | Gravedad Específica Sumada Superfina + finos Saca de Bulk | $G_{100} = 2.5440$ | Gravedad Específica del Cemento Asfáltico | $G_c = 1.0250$ |
| % de Agregado Cruaso | $\%P = 45.00\%$ | % de Agregado Fino | $\%P = 55.00\%$ | Porcentaje de Asfalto | $\%Asfalto = 6.50\%$ |
| Gravedad Específica Saca Bulk de la Combinación de Agregados | | $G_b = 2.5682$ | | | |
| Gravedad Específica Saca Aparente de la Combinación de Agregados | | $G_a = 2.6164$ | | | |

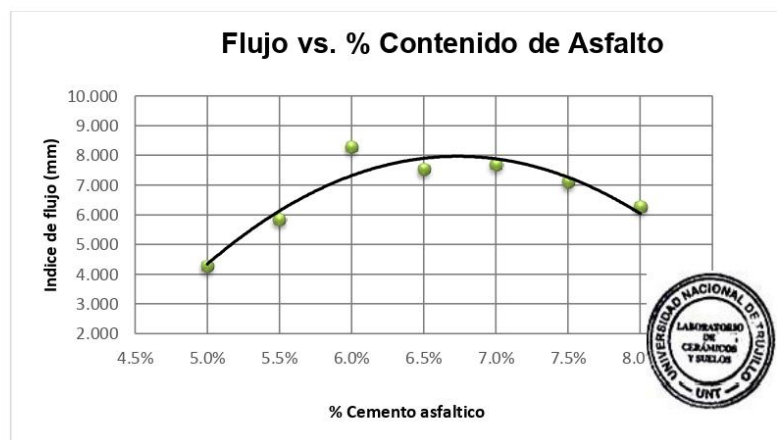
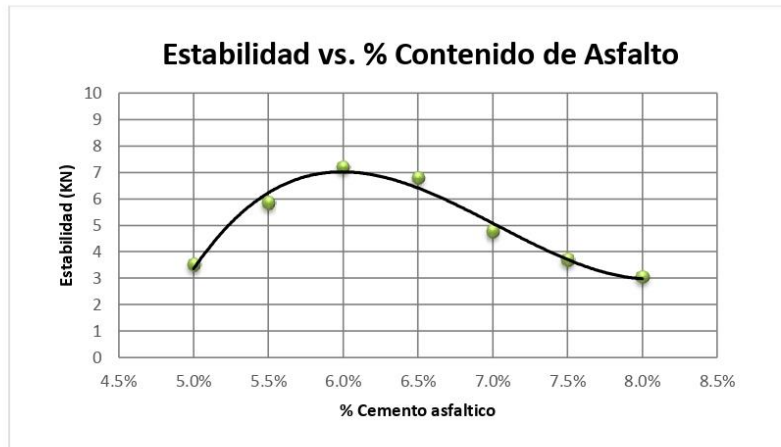
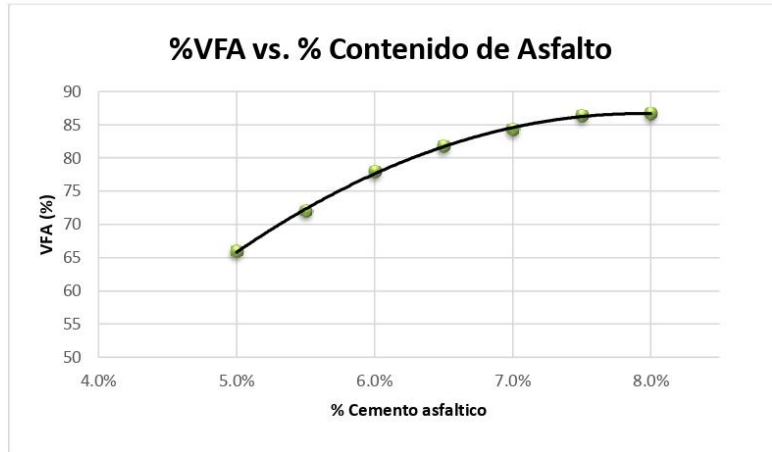
DOSEIFICACION MARSHALL

| % de asfalto | Altura de las Briquetas (cm) | Peso de las Briquetas | | Densidad Real G | Gravedad Específica de la Mezcla Compensada G_{mc} | Gravedad Específica de la Mezcla Máxima G_{mm} | Gravedad Específica de la Mezcla Agregada G_{ag} | Gravedad Específica de la Mezcla Absorbida G_{ab} | Potencial de Asfalto Efectivo P_{ve} | % Vacíos en el Agregado Mineral VMA | % Vacíos de Mezcla Compactada a VTM | % Vacíos de Usos de Asfalto VFA | Eabilidad Marshall | | Índice de Flujo (mm) | Índice de Flujo (puig) | Ind. Rigidez | |
|--------------|------------------------------|-----------------------|----------------|-----------------|--|--|--|---|--|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------|----------------------|------------------------|--------------|--------|
| | | M_1 (gr) | M_{200} (gr) | | | | | | | | | | Letura de la Escala de la Diferencia | Factor de Corrección | | | | |
| 5.0% | 6.708 | 1150.000 | 1187.750 | 689.625 | 2.277 | 2.412 | 2.592 | 0.371 | 4.647 | 15.688 | 5.615 | 65.887 | 52.000 | 3.735 | 3.503 | 4.260 | 0.329 | 15.763 |
| 5.5% | 6.700 | 1165.500 | 1186.250 | 676.000 | 2.284 | 2.391 | 2.592 | 0.371 | 5.148 | 15.948 | 4.473 | 71.980 | 27.000 | 7.027 | 5.826 | 3.813 | 0.390 | 10.387 |
| 6.0% | 6.673 | 1133.500 | 1187.750 | 683.850 | 2.291 | 2.374 | 2.592 | 0.371 | 5.275 | 16.201 | 3.378 | 77.960 | 50.000 | 7.160 | 1.003 | 7.181 | 0.298 | 24.033 |
| 6.5% | 6.000 | 1146.667 | 1190.000 | 688.333 | 2.287 | 2.358 | 2.592 | 0.371 | 6.133 | 16.792 | 3.072 | 81.742 | 15.000 | 7.929 | 0.965 | 6.783 | 0.302 | 16.042 |
| 7.0% | 6.633 | 1137.333 | 1192.333 | 684.933 | 2.279 | 2.342 | 2.592 | 0.371 | 6.633 | 17.337 | 2.740 | 84.273 | 15.000 | 4.750 | 1.003 | 4.784 | 0.302 | 16.042 |
| 7.5% | 6.633 | 1131.666 | 1193.333 | 684.933 | 2.279 | 2.316 | 2.592 | 0.371 | 7.133 | 17.880 | 2.400 | 86.372 | 15.000 | 4.187 | 0.816 | 4.884 | 0.299 | 12.516 |
| 8.0% | 6.633 | 1144.667 | 1197.333 | 681.267 | 2.244 | 2.310 | 2.592 | 0.371 | 7.638 | 19.408 | 2.398 | 89.648 | 15.000 | 3.281 | 0.843 | 3.924 | 0.339 | 11.708 |





Jorge Alejandro Barrientos Villalón
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 197384



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



ENSAYO DE MARSHALL
ASTM D-1559

PROYECTO : ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.
UBICACION : TRUJILLO - LA LIBERTAD
MATERIAL : MEZCLA ASFÁLTICA ÓPTIMA - MÉTODO B - R1 + % ESCORIA DE ACERO
AUTORES : LUIS REYNA JUAN JOSE
SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA

Determinación de la Cantidades Necesarias de Agregado y Asfalto

| Peso total de la Briqueta: | | | 1200 | | | gr |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|
| ASFALTO | | | AGREGADOS | | | |
| % de Escoria | Escoria (gr) | Asfalto (gr) | 45.0% | 0.0% | 0.0% | 55.0% |
| | | | Grava de 3/4" (gr) | Grava de 1/2" (gr) | Grava de 3/8" (gr) | Arena (gr) |
| 15.00% | 76.14 | 72 | 431.46 | 0.00 | 0.00 | 620.40 |
| 25.00% | 126.9 | 72 | 380.70 | 0.00 | 0.00 | 620.40 |
| 50.00% | 253.8 | 72 | 253.80 | 0.00 | 0.00 | 620.40 |
| 75.00% | 380.7 | 72 | 126.90 | 0.00 | 0.00 | 620.40 |

Determinación del Espesor, Densidad Real y Gravedad Especifica de Bulk de la Mezcla Compactada

| ALTURA DE LAS PROBETAS "BRIQUETAS " | | | | | |
|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------|
| % de escoria | Altura de las Probetas o Briquetas | | | | |
| | H ₁ (cm) | H ₂ (cm) | H ₃ (cm) | H ₄ (cm) | Promedio (cm) |
| 15.00% | 6.87 | 6.98 | 6.94 | 6.95 | 6.94 |
| 25.00% | 6.83 | 6.82 | 6.83 | 6.84 | 6.83 |
| 50.00% | 6.84 | 6.86 | 6.85 | 6.84 | 6.85 |
| 75.00% | 6.72 | 6.71 | 6.73 | 6.74 | 6.73 |

| DENSIDAD REAL Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE BULK DE LA MEZCLA COMPACTADA | | | | | |
|---|----------------|------------------|------------------|------------------------|-----------------|
| % escoria | M _S | M _{SSS} | M _{SUM} | G (kg/m ³) | G _{mb} |
| 15.00% | 1147 | 1187 | 679.8 | 2261.44 | 2.261 |
| 25.00% | 1157 | 1201 | 691.2 | 2269.52 | 2.270 |
| 50.00% | 1158 | 1195 | 687.9 | 2283.57 | 2.284 |
| 75.00% | 1143 | 1194 | 697.5 | 2302.11 | 2.302 |

Determinación de la Estabilidad y Flujo

| % escoria de acero | Lectura del Dial | Estabilidad KN | Indice de Flujo (PULG) | Indice de Flujo (mm) |
|--------------------|------------------|----------------|------------------------|----------------------|
| 15.00% | 10.9 | 7.29 | 0.553 | 14.04 |
| 25.00% | 52 | 8.41 | 0.507 | 12.88 |
| 50.00% | 27 | 11.85 | 0.451 | 11.46 |
| 75.00% | 90 | 13.59 | 0.381 | 9.69 |



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



ENSAYO DE MARSHALL
ASTM D-1559

PROYECTO: ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECANICAS DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE.

LUBRICACION: TRUJILLO-LA LIBERTAD

MATERIAL: MEZCLA ASFALTICA OPTIMA - METODO B-R1 + % ESCORIA DE ACERO

AUTORES: LUIS REYNALUAN JOSE

SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA

DOSETICACION MARSHALL

| | | |
|---|--|--|
| Gravedad Especifica de Agregados G _{mm} = 2.630 | Gravedad Especifica de Agregados Finos G _{mm} = 2.580 | Gravedad Especifica del Cemento Añadido Tipo de cemento Adhico según el Grado de Plastificación: 40.70 |
| Gravedad Especifica Seca aparente G _{sa} = 2.619 | G _{sa} = 2.560 | Densidad del cemento Adhico (kg/m ³) 1025.0000 |
| Gravedad Especifica Seca Bulk G _{sb} = 2.6410 | G _{sb} = 2.540 | Gravedad Especifica del Cemento Añadido C _p = 1.0250 |
| % de Agregado G _{ms} = 45.00% | % P _{ms} = 55.00% | Porcentaje de Adhivo % Adhivo = 6.50% |
| Gravedad Especifica Seca Bulk de la Combinación de Agregados G _{sb} = 2.5682 | 2.59 | |
| Gravedad Especifica Seca aparente de la Combinación de Agregados G _{sa} = 2.6164 | | |

| % de Agregado en la Mezcla | Peso de las Briquetas | | | Volumen (cm ³) | Densidad Real (g/cm ³) | Gravedad Especifica de Bulk de la Mezcla Compactada G _{mb} | Gravedad Especifica Teorica Maxima G _{mm} | Gravedad Especifica Efectiva del Agregado G _{se} | Porcentaje de Absorbido P _{ab} | Porcentaje de Adhivo Efectivo P _{ae} | % Vacios en el Agregado Mineral VMA | % Vacios de Aire en la Mezcla Compactada a VTM | % Vacios de Llenos de Asfalto VFA | Estabilidad Marshall | | Indice de Flujo (mm) | Indice de Flujo (psi/g) | Int. Rigidez | | |
|----------------------------|-----------------------|-----------|-----------|----------------------------|------------------------------------|---|--|---|---|---|-------------------------------------|--|-----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|--------------|-------------|-------------|
| | Mg (gr) | Mesa (gr) | Mesa (gr) | | | | | | | | | | | Letura del Dial | Estabilidad Correcta | | | | | |
| 15.0% | 6.940 | 1147.000 | 1187.000 | 479.800 | 2.741.433 | 2.741.000 | 2.374 | 2.592 | 0.371 | 5.651 | 17.244 | 4.778 | 70.290 | 10.000 | 7.290 | 6.459 | 14.040 | 0.553 | 11.68497061 | |
| 35.0% | 6.930 | 1157.000 | 1201.000 | 469.200 | 2.749.517 | 2.750.000 | 2.374 | 2.592 | 0.371 | 5.651 | 16.914 | 4.869 | 71.891 | 10.000 | 8.410 | 7.859 | 12.890 | 0.502 | 15.55666314 | |
| 50.0% | 6.930 | 1158.000 | 1195.000 | 487.900 | 2.748.573 | 2.748.000 | 2.374 | 2.592 | 0.371 | 5.651 | 16.402 | 3.810 | 76.773 | 27.000 | 11.850 | 8.946 | 11.210 | 11.460 | 0.451 | 24.846107 |
| 75.0% | 6.730 | 1143.000 | 1194.000 | 496.500 | 2.742.113 | 2.742.000 | 2.374 | 2.592 | 0.371 | 5.651 | 15.745 | 3.052 | 80.616 | 90.000 | 13.590 | 1.003 | 13.631 | 9.609 | 0.381 | 35.72975965 |





ENSAYO DE MARSHALL
ASTM D-1559

PROYECTO : ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.
UBICACION : TRUJILLO - LA LIBERTAD
MATERIAL : MEZCLA ASFÁLTICA OPTIMA- MÉTODO B – R2+% ESCORIA DE ACERO
AUTORES : LUIS REYNA JUAN JOSE
SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA

Determinación de la Cantidades Necesarias de Agregados y Asfalto

| Peso total de la Briqueta: | | | 1200 | | | gr |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|
| ASFALTO | | Asfalto (gr) | AGREGADOS | | | |
| % de Escoria | Escoria (gr) | | 45.0% | 0.0% | 0.0% | 55.0% |
| | | | Grava de 3/4" (gr) | Grava de 1/2" (gr) | Grava de 3/8" (gr) | Arena (gr) |
| 15.00% | 76.14 | 72 | 431.46 | 0.00 | 0.00 | 620.40 |
| 25.00% | 126.9 | 72 | 380.70 | 0.00 | 0.00 | 620.40 |
| 50.00% | 253.8 | 72 | 253.80 | 0.00 | 0.00 | 620.40 |
| 75.00% | 380.7 | 72 | 126.90 | 0.00 | 0.00 | 620.40 |

Determinación del Espesor, Densidad Real y Gravedad Especifica de Bulk de la Mezcla Compactada

| ALTURA DE LAS PROBETAS "BRIQUETAS" | | | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------|
| % de escoria | Altura de las Probetas o Briquetas | | | | |
| | H ₁ (cm) | H ₂ (cm) | H ₃ (cm) | H ₄ (cm) | Promedio (cm) |
| 15.00% | 6.75 | 6.72 | 6.74 | 6.72 | 6.73 |
| 25.00% | 6.49 | 6.48 | 6.47 | 6.45 | 6.47 |
| 50.00% | 6.82 | 6.81 | 6.83 | 6.81 | 6.82 |
| 75.00% | 6.61 | 6.62 | 6.63 | 6.64 | 6.63 |

| DENSIDAD REAL Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE BULK DE LA MEZCLA COMPACTADA | | | | | |
|---|----------------|------------------|------------------|-----------|-----------------|
| %de escoria | M _S | M _{SSS} | M _{SUM} | G (kg/m3) | G _{mb} |
| 15.00% | 1148 | 1188 | 682.5 | 2271.02 | 2.271 |
| 25.00% | 1154 | 1190 | 684.1 | 2281.08 | 2.281 |
| 50.00% | 1155 | 1188 | 685.2 | 2297.14 | 2.297 |
| 75.00% | 1148 | 1188 | 689.3 | 2301.99 | 2.302 |

Determinación de la Estabilidad y Flujo

| % de escoria | Lectura del Dial | Estabilidad KN | Indice de Flujo (PULG) | Indice de Flujo (mm) |
|--------------|------------------|----------------|------------------------|----------------------|
| 15.00% | 10.9 | 7.18 | 0.588 | 14.93 |
| 25.00% | 52 | 9.21 | 0.521 | 13.24 |
| 50.00% | 27 | 10.88 | 0.448 | 11.37 |
| 75.00% | 90 | 11.75 | 0.401 | 10.18 |



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



ENSAYO DE MARSHALL
ASTM D-1559

PROYECTO : ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.
UBICACION : TRUJILLO - LA LIBERTAD
MATERIAL : MEZCLA ASFÁLTICA OPTIMA - MÉTODO B - R3 + % ESCORIA DE ACERO
AUTORES : LUIS REYNA JUAN JOSE
SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA

Determinación de la Cantidades Necesarias de Agregado y Asfalto

| Peso total de la Briqueta: | | | 1200 | | | gr |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|
| % de Escoria | Escoria (gr) | Asfalto (gr) | AGREGADOS | | | |
| | | | 45.0% | 0.0% | 0.0% | 55.0% |
| | | | Grava de 3/4" (gr) | Grava de 1/2" (gr) | Grava de 3/8" (gr) | Arena (gr) |
| 15.00% | 75.735 | 78 | 429.17 | 0.00 | 0.00 | 617.10 |
| 25.00% | 126.225 | 78 | 378.68 | 0.00 | 0.00 | 617.10 |
| 50.00% | 252.45 | 78 | 252.45 | 0.00 | 0.00 | 617.10 |
| 75.00% | 378.675 | 78 | 126.23 | 0.00 | 0.00 | 617.10 |

Determinación del Espesor, Densidad Real y Gravedad Especifica de Bulk de la Mezcla Compactada

| ALTURA DE LAS PROBETAS "BRIQUETAS" | | | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------|
| % Escoria | Altura de las Probetas o Briquetas | | | | |
| | H ₁ (cm) | H ₂ (cm) | H ₃ (cm) | H ₄ (cm) | Promedio (cm) |
| 15.00% | 6.72 | 6.73 | 6.74 | 6.72 | 6.73 |
| 25.00% | 6.49 | 6.48 | 6.46 | 6.48 | 6.48 |
| 50.00% | 6.67 | 6.65 | 6.67 | 6.64 | 6.66 |
| 75.00% | 6.58 | 6.59 | 6.57 | 6.55 | 6.57 |

| DENSIDAD REAL Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE BULK DE LA MEZCLA COMPACTADA | | | | | |
|---|----------------|-----------------|------------------|------------------------|-----------------|
| % Escoria | M _s | M _{SS} | M _{SUM} | G (kg/m ³) | G _{mb} |
| 15.00% | 1147 | 1190 | 682.5 | 2260.10 | 2.260 |
| 25.00% | 1149 | 1179 | 674.1 | 2275.70 | 2.276 |
| 50.00% | 1152 | 1180 | 677.9 | 2294.36 | 2.294 |
| 75.00% | 1138 | 1171 | 675.5 | 2296.67 | 2.297 |

Determinación de la Estabilidad y Flujo

| % Escoria | Lectura del Dial | Estabilidad KN | Indice de Flujo (PULG) | Indice de Flujo (mm) |
|-----------|------------------|----------------|------------------------|----------------------|
| 15.00% | 10.9 | 7.29 | 0.578 | 14.69 |
| 25.00% | 52 | 8.38 | 0.506 | 12.84 |
| 50.00% | 27 | 10.81 | 0.426 | 10.81 |
| 75.00% | 90 | 12.57 | 0.376 | 9.54 |



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



ENSAYO DE MARSHALL
ASTM D-1659

PROYECTO ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE
UBICACION TRUJILLO - LA LIBERTAD
MATERIAL MEZCLA ASFALTICA OPTIMO - METODO B - R3 + % ESCORIA DE ACERO
AUTORES LUIS REYNA JUAN JOSE
SILVATERRONES DEBORA ALEXANDRA

DOSEIFICACION MARSHALL

| | | |
|---|---|---|
| Gravedad Específica en Agregados Gruesos $G_{100} = 2.630$ | Gravedad Específica en Agregados Finos $G_{200} = 2.589$ | Gravedad Específica del Cemento Asfáltico $G_c = 1.020$ |
| Gravedad Específica Seca por peso $G_{100} = 2.630$ | Gravedad Específica Seca por peso $G_{200} = 2.589$ | Tipo de cemento Asfáltico según el Grado de Penetración $P_{600} = 102.0000$ |
| Gravedad Específica Saturada Aparentemente Seca de Bulk $G_{100} = 2.6410$ | Gravedad Específica Saturada Aparentemente Seca de Bulk $G_{200} = 2.5440$ | Densidad del cemento Asfáltico (Kg/cm ³) $C_p = 1.020$ |
| % de Agregado Grueso $\% P = 45.00\%$ | % de Agregado Fino $\% P = 55.00\%$ | Gravedad Específica del Cemento Asfáltico $C_p = 1.020$ |
| Gravedad Específica Seca Bulk de la Combinación de Agregados $G_{10} = 2.5682$ | | |
| Gravedad Específica Seca Aparente de la Combinación de Agregados $G_{10} = 2.6164$ | | |

2.39

| % de Resapla zo de Escoria | Alto de las Briquetas (cm) | Peso de las Briquetas | | | Densidad Real C | Gravedad Específica de Bulk de la mezcla Compactada G_{10} | Gravedad Específica Efectiva del Agregado o G_{10} | Porcentaje de Absorbido P_{ab} | Porcentaje de Asfalto Efectivo P_{ae} | % Vacíos en el Agregado Mineral VMA | % Vacíos de Aire en la Mezcla Compactada a VTM | % Vacíos de Llenos de Asfalto en VMA | Estabilidad Marshall | | Índice de Flujo (mm) | Índice de Flujo (psi) | Ind. Rigidez | | | |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------|----------------|-----------------|---|--|----------------------------------|---|-------------------------------------|--|--------------------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|--------------|--------|-------|-------------|
| | | M_1 (gr) | M_{100} (gr) | M_{200} (gr) | | | | | | | | | Lectura de Dial KN | Factor de Corrección KN | | | | | | |
| 15.0% | 6.750 | 1147.000 | 1190.000 | 682.500 | 507.500 | 2.560.000 | 2.374 | 2.592 | 0.371 | 5.651 | 17.280 | 4.820 | 72.105 | 10.900 | 7.390 | 0.886 | 6.459 | 14.680 | 0.778 | 111.6793652 |
| 25.0% | 6.480 | 1149.000 | 1179.000 | 674.100 | 504.900 | 2.575.698 | 2.374 | 2.592 | 0.371 | 5.651 | 16.695 | 4.147 | 75.162 | 52.000 | 8.380 | 0.938 | 7.860 | 12.840 | 0.706 | 153.4946014 |
| 50.0% | 6.660 | 1152.000 | 1180.000 | 677.900 | 502.100 | 2.584.364 | 2.374 | 2.592 | 0.371 | 5.651 | 16.036 | 3.389 | 78.869 | 27.000 | 10.810 | 0.929 | 10.042 | 10.810 | 0.426 | 23.59658726 |
| 75.0% | 6.370 | 1138.000 | 1171.000 | 675.500 | 495.500 | 2.596.670 | 2.374 | 2.592 | 0.371 | 5.651 | 15.926 | 3.262 | 79.517 | 90.000 | 12.570 | 1.003 | 12.608 | 9.240 | 0.376 | 33.36767936 |



LABORATORIO DE MATERIALES CERÁMICOS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
CIP N° 107204



ENSAYO DE MARSHALL
ASTM D-1559

PROYECTO : ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, TRUJILLO 2021
UBICACION : TRUJILLO - LA LIBERTAD
MATERIAL : MEZCLA ASFÁLTICA OPTIMA - MÉTODO B - R4 + % ESCORIA DE ACERO
AUTORES : LUIS REYNA JUAN JOSE
SILVA TERRONES DEBORA ALEXANDRA

Determinación de la Cantidades Necesarias de Agregado y Asfalto

| Peso total de la Briqueta: | | | 1200 | | | gr |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|
| % de Escoria | Escoria (gr) | Asfalto (gr) | AGREGADOS | | | |
| | | | 45.0% | 0.0% | 0.0% | 55.0% |
| | | | Grava de 3/4" (gr) | Grava de 1/2" (gr) | Grava de 3/8" (gr) | Arena (gr) |
| 15.00% | 76.14 | 72 | 431.46 | 0.00 | 0.00 | 620.40 |
| 25.00% | 126.9 | 72 | 380.70 | 0.00 | 0.00 | 620.40 |
| 50.00% | 253.8 | 72 | 253.80 | 0.00 | 0.00 | 620.40 |
| 75.00% | 380.7 | 72 | 126.90 | 0.00 | 0.00 | 620.40 |

Determinación del Espesor, Densidad Real y Gravedad Especifica de Bulk de la Mezcla Compactada

| ALTURA DE LAS PROBETAS "BRIQUETAS" | | | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------|
| % Escoria | Altura de las Probetas o Briquetas | | | | |
| | H ₁ (cm) | H ₂ (cm) | H ₃ (cm) | H ₄ (cm) | Promedio (cm) |
| 15.00% | 6.75 | 6.76 | 6.74 | 6.75 | 6.75 |
| 25.00% | 6.81 | 6.83 | 6.81 | 6.82 | 6.82 |
| 50.00% | 6.92 | 6.91 | 6.93 | 6.91 | 6.92 |
| 75.00% | 6.65 | 6.66 | 6.64 | 6.63 | 6.65 |

| DENSIDAD REAL Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE BULK DE LA MEZCLA COMPACTADA | | | | | |
|---|----------------|------------------|------------------|------------------------|-----------------|
| % Escoria | M _S | M _{SSS} | M _{SUM} | G (kg/m ³) | G _{mb} |
| 15.00% | 1146 | 1192 | 685.2 | 2261.25 | 2.261 |
| 25.00% | 1145 | 1188 | 684.1 | 2272.28 | 2.272 |
| 50.00% | 1137 | 1186 | 689.6 | 2290.49 | 2.290 |
| 75.00% | 1149 | 1184 | 684.8 | 2301.68 | 2.302 |

Determinación de la Estabilidad y Flujo

| % Escoria | Lectura del Dial | Estabilidad KN | Indice de Flujo (PULG) | Indice de Flujo (mm) |
|-----------|------------------|----------------|------------------------|----------------------|
| 15.00% | 10.9 | 7.69 | 0.578 | 14.68 |
| 25.00% | 52 | 9.12 | 0.523 | 13.28 |
| 50.00% | 27 | 10.48 | 0.415 | 10.54 |
| 75.00% | 90 | 12.56 | 0.383 | 9.72 |



Jorge Alejandro Bustos Viana
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 197384



ENSAYO DE MARSHALL

ASTM D-1659

PROYECTO ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE.

UBICACION TRUJILLO - LA LIBERTAD

MATERIAL MEZCLA ASFALTICA OPTIMA - METODO B - R4 + % ESCORIA DE ACERO

AUTORES LUIS REYNA JUAN JOSE

SILVA TERREONES DEBORA ALEXANDRA

DOSIFICACION MARSHALL

| | | |
|---|---|---|
| Gravedad Especifica Agregados Gruesos $G_{se} = 2.6730$ | Gravedad Especifica Agregados Finos $G_{sf} = 2.6800$ | Gravedad Especifica del Cemento Asfáltico Tipo de cemento Asfáltico según el Cambio de Prescripciones Densidad del cemento Asfáltico (kg/m ³) $P_{ca} = 1023.0000$ |
| Gravedad Especifica Seca Bulk $G_{sb} = 2.6330$ | Gravedad Especifica Seca Bulk $G_{sf} = 2.6160$ | $P_{ca} = 1023.0000$ |
| Gravedad Especifica Saturada Superficialmente Seca de Bulk $G_{ss} = 2.6410$ | Gravedad Especifica Saturada Superficialmente Seca de Bulk $G_{sf} = 2.6440$ | $G_c = 1.0250$ |
| % de Agregado Grueso $\% P_u = 45.00\%$ | % de Agregado Fino $\% P_f = 55.00\%$ | |

2.59

Gravedad Especifica Seca Bulk de la Combinación de Agregados
 $G_{sb} = 2.5682$

Gravedad Especifica Seca Aproximada de la Combinación de Agregados
 $G_{sa} = 2.6164$

| % de Recarga de Escoria | Peso de las Briquetas | | | Volumen Real G | Gravedad Especifica Bulk de la mezcla Compactada G_{mb} | Gravedad Especifica Efectiva del Agregado G_{se} o G_{sf} | Porcentaje de Asfalto Absorbido P_{ab} | Porcentaje Efectivo de Asfalto P_{ef} | % Vacíos en el Agregado Mineral VMA | % Vacíos de Aire en la Mezcla Compáctada a TEM | % Vacíos de Llenos de Arreglo VFA | Estabilidad Marshall | | | Índice de Flujos (mm) | Índice de Flujos (g/mg) | Índice de Flujos (mm) | | |
|-------------------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|---|---|--|---|-------------------------------------|--|-----------------------------------|----------------------|----------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------|-------------|
| | M_b (gr) | M_{sum} (gr) | M_{sum} (gr) | | | | | | | | | Lectura de Dial | Estabilidad KN | Factor de Corrección | | | | | |
| 15.0% | 6.750 | 114.6000 | 1182.0000 | 3761.247 | 3.2450000 | 3.1374 | 2.592 | 0.371 | 5.651 | 17.244 | 4.778 | 72.790 | 10.600 | 7.600 | 0.846 | 6.813 | 14.600 | 0.738 | 11.78370468 |
| 25.0% | 6.820 | 114.6000 | 1188.0000 | 3772.276 | 3.2250000 | 3.1374 | 2.592 | 0.371 | 5.651 | 16.841 | 4.415 | 74.378 | 10.600 | 9.120 | 0.838 | 8.555 | 13.800 | 0.733 | 16.3683755 |
| 30.0% | 6.920 | 114.6000 | 1188.0000 | 3780.492 | 3.2000000 | 3.1374 | 2.592 | 0.371 | 5.651 | 16.182 | 3.557 | 78.079 | 10.600 | 10.400 | 0.946 | 9.974 | 10.540 | 0.415 | 23.89160004 |
| 75.0% | 6.650 | 114.6000 | 1184.0000 | 3501.653 | 3.3620000 | 2.374 | 2.592 | 0.371 | 5.651 | 13.743 | 3.052 | 80.616 | 90.000 | 12.960 | 1.005 | 12.398 | 9.720 | 0.383 | 31.9484256 |





ENSAYO DE MARSHALL
ASTM D-1559

PROYECTO : ESCORIA DE ACERO Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE
UBICACION : TRUJILLO - LA LIBERTAD
MATERIAL : MEZCLA ASFÁLTICA ÓPTIMA - METODO B + ESCORIA DE ACERO - PROMEDIO
AUTORES : LUIS REYNALD JUAN JOSE
SILVA TERROÑES DEBORA ALEXANDRA

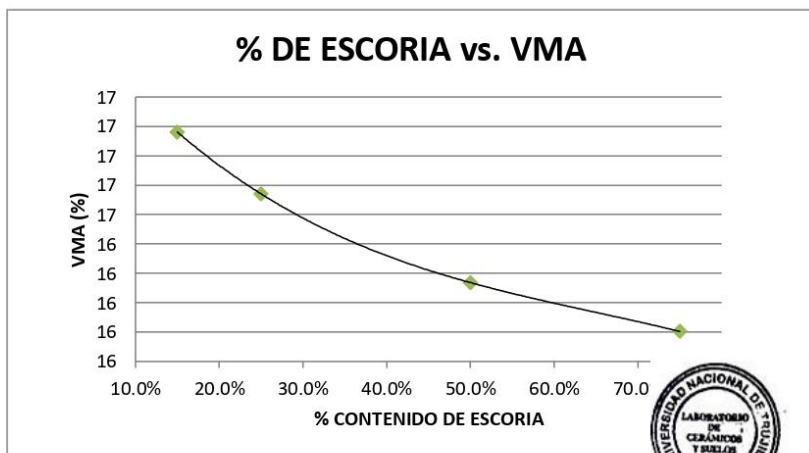
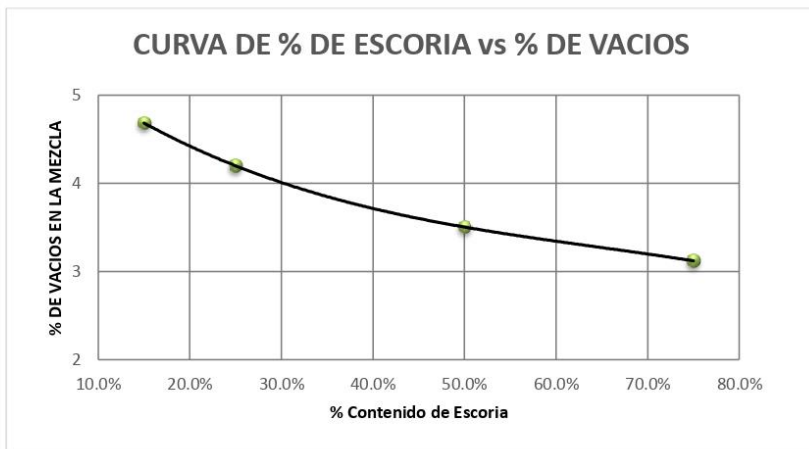
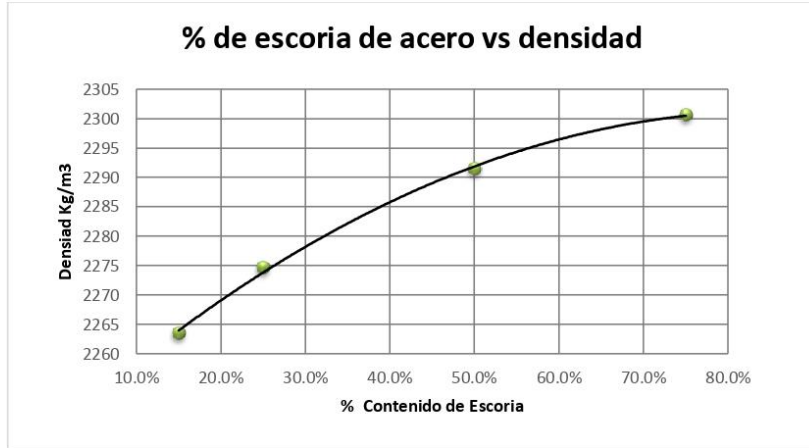
POSICIONACION MARSHALL

| | | |
|--|---|--|
| <p>Gravedad Específica en Agregado Grueso: Gravedad Específica Seca aparente Gravedad Específica Saturada Superficialmente Gravedad Específica Saturada Superficialmente - Seco de Bulk</p> <p>$G_{se} = 2.6330$ $G_{sa} = 2.6793$ $G_{ss} = 2.6410$</p> <p>% de Agregado Grueso: $\% P = 45.00\%$</p> | <p>Gravedad Específica en Agregado Fino: Gravedad Específica Seca aparente Gravedad Específica Saturada Superficialmente - Seco de Bulk</p> <p>$G_{sf} = 2.5880$ $G_{sfa} = 2.5880$ $G_{sfs} = 2.5440$</p> <p>% P = 55.00%</p> | <p>Gravedad Específica del Cemento Asfáltico: Tipo de cemento Asfáltico según el Grado de Penetración: Densidad del cemento Asfáltico (Kg/m³) Gravedad Específica del Cemento Asfáltico</p> <p>Rockaf[®] = 80.70 102.0000 1.0259</p> <p>% agua[®] = 6.50%</p> |
| <p>Gravedad Específica Seca Bulk de la Combinación de Agregados $G_{sb} = 2.5682$</p> | | |
| <p>Gravedad Específica Seca Aparente de la Combinación de Agregados $G_{sm} = 2.6164$</p> | | |

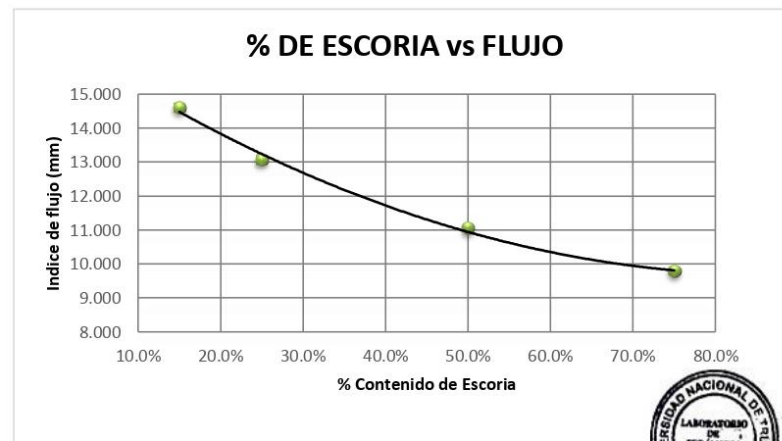
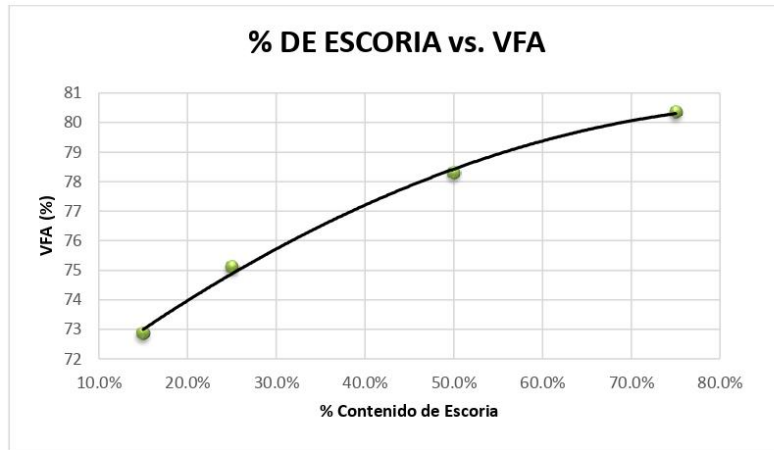
2.59

| % de Recorrido de la Zona de Escoria | Peso de las Briquetas | | Volumen Real (cm ³) | Densidad Real (g/cm ³) | Gravedad Específica de Bulk de la mezcla Compactada G_{pb} | Gravedad Específica de Bulk de la Mezcla Máxima G_{pm} | Gravedad Específica Efectiva del Agregado G_{se} o G_{sf} | Porcentaje de Aborridido P_{ab} | Porcentaje de Astillado Efectivo P_{ae} | % Vacíos en el Agregado VMA | % Vacíos de Aire en la Mezcla Compactada a VNI | % Vacíos de Líquidos en el Afalto VFA | Estabilidad Marshall | | Índice de Flujo (pulg) | Índice de Rigidez | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|-----------------------------|--|---------------------------------------|----------------------|----------------------|------------------------|-------------------|--------|--------|-------|--------|
| | M ₁ (gr) | M ₂ (gr) | | | | | | | | | | | Lectura del Dial | Factor de Corrección | | | | | | |
| 15.0% | 6.788 | 1147.333 | 1188.333 | 681.600 | 506.733 | 2363.450 | 2.374 | 2.592 | 0.371 | 5.651 | 17.161 | 72.859 | 10.900 | 7.343 | 0.846 | 6.533 | 14.585 | 11.225 | | |
| 25.0% | 6.923 | 1150.000 | 1190.000 | 683.133 | 506.867 | 2374.644 | 2.374 | 2.592 | 0.371 | 5.651 | 16.740 | 4.199 | 71.105 | 52.000 | 8.667 | 0.938 | 8.216 | 13.060 | 0.511 | 15.893 |
| 50.0% | 6.813 | 1155.000 | 1187.667 | 683.667 | 504.000 | 2391.391 | 2.392 | 2.592 | 0.371 | 5.651 | 16.137 | 3.504 | 78.295 | 27.000 | 11.180 | 0.935 | 10.319 | 11.045 | 0.441 | 23.674 |
| 75.0% | 6.643 | 1143.000 | 1184.333 | 687.433 | 496.900 | 2300.613 | 2.300 | 2.374 | 0.371 | 5.651 | 15.804 | 3.122 | 80.341 | 90.000 | 12.657 | 1.003 | 12.655 | 9.753 | 0.386 | 32.901 |





Jorge Asgredo Barrios Vitorino
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 197384



Jorge Alejandro Barrientos Villarreal
ING. DE MATERIALES
R.C.P. N° 197384

Anexo 4. Panel fotográfico



Agregado grueso



Agregado fino.



Ensayo granulométrico.



Tamizado del agregado fino.



Ensayo de arena equivalente



Cemento asfáltico



Preparación de la mezcla asfáltica



Molde para la briqueta



Compactación de la briqueta



Extracción de la briqueta



Peso específico de la briqueta.



Briqueta sumergida en baño maría.



Ensayo Marshall en estabilidad y flujo



Rotura de briquetas