

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente
modificada**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR

Alondra Yacory Angulo Lopez

ASESOR

Manuel Alejandro Borja Suarez

<https://orcid.org/0000-0002-6532-4976>

Chiclayo, 2024

**Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en
caliente modificada**

PRESENTADA POR
Alondra Yacory Angulo Lopez

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Ronald Esteban Villanueva Maguiña

PRESIDENTE

Luis Quiroz Quiñones

SECRETARIO

Manuel Alejandro Borja Suarez

VOCAL

Dedicatoria

Principalmente, dedico esta tesis a Dios, por haberme guiado a lo largo de todo el proceso de la investigación.

Dedico esta tesis a mis padres, quienes siempre han sido mi inspiración y mi fuerza motriz, su sacrificio y dedicación han sido fundamentales para mi desarrollo académico y personal.

Finalmente, dedico este trabajo a todos aquellos que creen en el poder de la educación y la investigación para construir un mejor futuro.

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios por darme salud y la fortaleza necesaria para prepararme durante mi etapa universitaria y culminar exitosamente mi carrera.

A mi familia, por su amor incondicional y su paciencia durante todo este proceso, por creer en mí y por brindarme el apoyo necesario para alcanzar mis metas.

A la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo y a los profesionales que de una u otra forma contribuyeron con información y recursos para este trabajo de investigación siendo un aporte para la ingeniería.

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	7%
2	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	1%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1%
8	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1%

ÍNDICE

RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13
REVISIÓN DE LITERATURA	17
Antecedentes	17
Bases teóricas	20
Mezclas asfálticas	20
Componentes de Mezclas Asfálticas	20
Cemento asfáltico	20
Agregados Pétreos y Filler o relleno mineral	21
Ensayos de caracterización de los agregados	22
Filler o relleno mineral	29
Mejorador de adherencia	29
Propiedades de las Mezclas Asfálticas	29
Características y comportamiento de las Mezclas Asfálticas	31
Mezclas Asfálticas en Caliente	31
Gradación de la Mezcla Asfáltica en Caliente	32
Mezclas Asfálticas Modificadas	32
Mezclas Asfálticas con botellas de plástico reciclado	33
Ensayos para evaluar el comportamiento de la MAC	33
Metodología del Diseño Marshall	34
Requisitos establecidos para el diseño de mezcla asfáltica en caliente	35
Ensayo de Lottman Modificado	36
Ensayo de Módulo Resiliente	36
Ensayo de Cántabro	37
Plástico	37
Plástico PET	38
Características del plástico PET	39
Propiedades del Plástico PET	39
Ventajas del Plástico PET	40
Desventajas del Plástico PET	40
MATERIALES Y MÉTODOS	41

Tipo de investigación.....	41
Nivel de investigación.....	41
Diseño de investigación	41
Población, muestra y muestreo.....	41
Operacionalización de variables.....	43
Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	43
Estrategia de análisis de datos	44
Procedimiento	45
Proceso de Obtención de Materiales	45
Ensayos de caracterización de los agregados.....	46
Ensayos de caracterización del plástico reciclado PET	53
Ensayos para evaluar el comportamiento de la MAC	54
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	59
Resultados	59
Discusión	94
CONCLUSIONES	98
RECOMENDACIONES	101
REFERENCIAS	103
ANEXOS	108

Lista de Tablas

<i>Tabla 1. Selección del tipo de cemento asfáltico</i>	21
<i>Tabla 2. Requerimientos de calidad para los agregados gruesos</i>	21
<i>Tabla 3. Requerimientos de calidad para los agregados finos</i>	22
<i>Tabla 4. Tamaño de la muestra de agregado</i>	22
<i>Tabla 5. Cantidad mínima de muestra de agregado grueso</i>	23
<i>Tabla 6. Tamices en los cuales se evaluará el agregado fino</i>	23
<i>Tabla 7. Tamices en los cuales se evaluará el agregado grueso (según gradación)</i>	23
<i>Tabla 8. Tamices para ensayos en agregado grueso después de eliminar sulfatos</i>	24
<i>Tabla 9. Peso de muestra según el tipo de agregado</i>	24
<i>Tabla 10. Peso mínimo de la muestra de ensayo</i>	24
<i>Tabla 11. Carga según tipo de gradación de la muestra para el ensayo de abrasión.</i>	25
<i>Tabla 12. Gradación de las muestras de ensayo</i>	26
<i>Tabla 13. Peso de muestra con relación al tamaño del agregado</i>	26
<i>Tabla 14. Pesos mínimos requeridos para el ensayo dependiendo del tamaño máximo nominal</i>	27
<i>Tabla 15. Husos Granulométricos</i>	32
<i>Tabla 16. Requisitos del diseño Marshall para mezcla asfáltica en caliente</i>	36
<i>Tabla 17. Vacíos mínimos en el agregado natural</i>	36
<i>Tabla 18. Datos técnicos del PET</i>	39
<i>Tabla 19. Características de la Ficha Técnica del PET</i>	40
<i>Tabla 20. Muestreo para el % óptimo de C.A.</i>	41
<i>Tabla 21. Muestreo para Ensayo de Marshall</i>	42
<i>Tabla 22. Muestreo para Ensayos</i>	42
<i>Tabla 23. Tabla Resumen de Muestreo</i>	42
<i>Tabla 24. Operacionalización de Variables</i>	43
<i>Tabla 25. Diagrama de Flujo</i>	44
<i>Tabla 26. Resultados del Control de calidad del agregado grueso</i>	59
<i>Tabla 27. Resultados del Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado grueso</i>	59
<i>Tabla 28. Resultados del Ensayo de Abrasión de los Ángeles</i>	60
<i>Tabla 29. Resultados del Ensayo de Determinación de partículas chatas y alargadas</i>	60
<i>Tabla 30. Resultados del Ensayo de Determinación de partículas con una cara fracturada</i>	61
<i>Tabla 31. Resultados del Ensayo de Determinación de partículas con dos a más caras fracturadas</i>	62
<i>Tabla 32. Resultados del Ensayo de Sales solubles en agregados gruesos</i>	62
<i>Tabla 33. Resultados del Ensayo de Peso Específico y Absorción en agregados gruesos</i>	63
<i>Tabla 34. Resultado del Ensayo de Contenido de humedad en agregados gruesos</i>	63
<i>Tabla 35. Resultados del Control de calidad del agregado fino</i>	64
<i>Tabla 36. Resultados del Ensayo de Equivalente de arena</i>	64
<i>Tabla 37. Resultados de los Ensayos de Límites de consistencia</i>	65
<i>Tabla 38. Resultados del Ensayo de Azul de Metileno</i>	65
<i>Tabla 39. Resultados del Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado fino</i>	66

<i>Tabla 40. Resultado del Ensayo de Sales solubles en agregados finos</i>	66
<i>Tabla 41. Resultado del Ensayo de Peso Específico y Absorción en agregados finos</i>	67
<i>Tabla 42. Resultados del Ensayo de Gravedad Específica</i>	67
<i>Tabla 43. Resultados del ensayo de Contenido de humedad en agregados finos</i>	68
<i>Tabla 44. Resultado ensayo de Peso Específico y Absorción del PET</i>	68
<i>Tabla 45. Resultado de la Densidad del PET</i>	68
<i>Tabla 46. Granulometría del PET</i>	69
<i>Tabla 47. Resultados de la combinación de agregados para la dosificación de diseño</i>	70
<i>Tabla 48. Dosificación para el diseño de Mezcla Asfáltica Convencional - C.A 4%</i>	71
<i>Tabla 49. Peso total de la Mezcla Asfáltica Convencional - C.A 4%</i>	71
<i>Tabla 50. Dosificación para el diseño de Mezcla Asfáltica Convencional - C.A 4.5%</i>	71
<i>Tabla 51. Peso total de la Mezcla Asfáltica Convencional - C.A 4.5%</i>	72
<i>Tabla 52. Dosificación para el diseño de Mezcla Asfáltica Convencional - C.A 5%</i>	72
<i>Tabla 53. Peso total de la Mezcla Asfáltica Convencional - C.A 5%</i>	72
<i>Tabla 54. Dosificación para el diseño de Mezcla Asfáltica Convencional - C.A 5.5%</i>	72
<i>Tabla 55. Peso total de la Mezcla Asfáltica Convencional - C.A 5.5%</i>	72
<i>Tabla 56. Dosificación para el diseño de Mezcla Asfáltica Convencional - C.A 6%</i>	73
<i>Tabla 57. Peso total de la Mezcla Asfáltica Convencional - C.A 6%</i>	73
<i>Tabla 58. Dosificación para el diseño de Mezcla Asfáltica Modificada - C.A 5.8% + 1% PET</i>	73
<i>Tabla 59. Peso total de la Mezcla Asfáltica Modificada - C.A 5.8% + 1% PET</i>	73
<i>Tabla 60. Resultados Comparativos de los parámetros de diseño por el Método Marshall según el % de PET</i> 74	
<i>Tabla 61. Análisis de los resultados obtenidos en el diseño de mezcla para MAC convencional</i>	79
<i>Tabla 62. Análisis de los resultados obtenidos en el diseño de mezcla para MAC + 1% PET</i>	81
<i>Tabla 63. Resultados de la Gravedad Específica de una MAC convencional</i>	82
<i>Tabla 64. Resultados de la Gravedad Específica de una MAC + 1%PET</i>	82
<i>Tabla 65. Análisis comparativo de los parámetros de diseño de MAC vs. MAM</i>	83
<i>Tabla 66. Resultados del ensayo de Lottman Modificado TRS para una MAC convencional</i>	87
<i>Tabla 67. Resultados del ensayo de Lottman Modificado TRS para una MAC modificada</i>	88
<i>Tabla 68. Resultados del ensayo de Módulo Resiliente para una MAC convencional</i>	89
<i>Tabla 69. Resultados del ensayo de Módulo Resiliente para una MAC modificada</i>	90
<i>Tabla 70. Resultados del ensayo de mezclas bituminosas mediante la pérdida por desgaste - Cántabro</i>	91
<i>Tabla 71. Análisis de precios unitarios de una MAC convencional</i>	92
<i>Tabla 72. Análisis de precios unitarios de una MAC modificada</i>	92

Lista de Ilustraciones

<i>Ilustración 1. Visita Planta de Asfalto del Gobierno Regional de Lambayeque</i>	45
<i>Ilustración 2. Ubicación de la Recicladora Virgen de Copacabana</i>	45
<i>Ilustración 3. Proceso de Recolección del material</i>	46
<i>Ilustración 4. Contenido de humedad total de los agregados por secado</i>	46
<i>Ilustración 5. Análisis Granulométrico de agregados</i>	47
<i>Ilustración 6. Durabilidad al sulfato de magnesio</i>	47
<i>Ilustración 7. Sales solubles totales en agregados</i>	48
<i>Ilustración 8. Peso y absorción de agregados gruesos</i>	49
<i>Ilustración 9. Abrasión Los Ángeles al Desgaste</i>	49
<i>Ilustración 10. Partículas Fracturadas</i>	50
<i>Ilustración 11. Partículas chatas y alargadas</i>	50
<i>Ilustración 12. Gravedad específica y absorción de agregados finos</i>	51
<i>Ilustración 13. Equivalente de arena</i>	51
<i>Ilustración 14. Límites de plasticidad</i>	52
<i>Ilustración 15. Azul de metileno</i>	52
<i>Ilustración 16. Peso específico y Absorción del PET</i>	53
<i>Ilustración 17. Densidad del PET</i>	53
<i>Ilustración 18. Granulometría del PET</i>	54
<i>Ilustración 19. Pesaje y añadido de agregados y cemento asfáltico.</i>	54
<i>Ilustración 20. Mezcla de agregados y compactación de especímenes</i>	55
<i>Ilustración 21. Extracción de especímenes</i>	55
<i>Ilustración 22. Densidad de las muestras</i>	56
<i>Ilustración 23. Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall para muestras</i>	56
<i>Ilustración 24. Ensayo de Gravedad Específica</i>	56
<i>Ilustración 25. Preparación de las muestras</i>	57
<i>Ilustración 26. Ensayo de Lottman Modificado</i>	57
<i>Ilustración 27. Ensayo de Módulo Resiliente por tracción indirecta</i>	58
<i>Ilustración 28. Ensayo de Cántabro</i>	58
<i>Ilustración 29. Resultados del ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado grueso</i>	59
<i>Ilustración 30. Resultados del Ensayo de Abrasión de los Ángeles</i>	60
<i>Ilustración 31. Resultados del Ensayo de Determinación de partículas chatas y alargadas</i>	61
<i>Ilustración 32. Resultados del Ensayo de Determinación de partículas con una cara fracturada</i>	61
<i>Ilustración 33. Resultados del Ensayo de Determinación de partículas con dos a más caras fracturadas</i>	62
<i>Ilustración 34. Resultados del Ensayo de Sales solubles en agregados gruesos</i>	63
<i>Ilustración 35. Resultados del Ensayo de Peso Específico y Absorción en agregados gruesos</i>	63
<i>Ilustración 36. Resultados del Ensayo de Equivalente de arena</i>	64
<i>Ilustración 37. Curva de fluidez</i>	65
<i>Ilustración 38. Resultados del Ensayo de azul de metileno</i>	65
<i>Ilustración 39. Resultados del Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado fino</i>	66

<i>Ilustración 40. Resultado del Ensayo de Sales solubles en agregados finos</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 41. Resultado del Ensayo de Peso Específico y Absorción en agregados finos.....</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 42. Curva Granulométrica del PET.....</i>	<i>69</i>
<i>Ilustración 43. Curva granulométrica de la combinación de agregados para dosificación de diseño.....</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 44. Gráfico de resultados del Peso Unitario con respecto al C.A.....</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 45. Gráfico de resultados del % de Vacíos con aire con respecto al C.A</i>	<i>75</i>
<i>Ilustración 46. Gráfico de resultados del % Vacíos con agregado mineral con respecto al C.A</i>	<i>75</i>
<i>Ilustración 47. Gráfico de resultados del % V.LL.C. A con respecto al C.A</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 48. Gráfico de resultados del Flujo con respecto al C.A.....</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 49. Gráfico de resultados de la Estabilidad con respecto al C.A.....</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 50. Gráfico de resultados de la relación Estabilidad/Flujo con respecto al C.A</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 51. Gráficos % Contenido de asfalto vs. Parámetros de diseño para MAC convencional</i>	<i>78</i>
<i>Ilustración 52. Análisis de los resultados obtenidos en el diseño de mezcla para MAC convencional.....</i>	<i>79</i>
<i>Ilustración 53. Gráficos % Contenido de asfalto vs. Parámetros de diseño para MAC + 1% PET.....</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 54. Gráficos de los resultados obtenidos en el diseño de mezcla para MAC + 1% PET.....</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 55. Gráfico Comparativo de la Gravedad Específica de la MAC vs. MAM.....</i>	<i>82</i>
<i>Ilustración 56. Gráfico Comparativo entre el % vacíos de aire de la MAC vs. MAM</i>	<i>83</i>
<i>Ilustración 57. Gráfico Comparativo entre el % vacíos de agregado mineral de la MAC vs. MAM</i>	<i>84</i>
<i>Ilustración 58. Gráfico Comparativo entre el % vacíos llenados de C.A de la MAC vs. MAM</i>	<i>84</i>
<i>Ilustración 59. Gráfico Comparativo entre el flujo de la MAC vs. MAM.....</i>	<i>85</i>
<i>Ilustración 60. Gráfico Comparativo entre la estabilidad de la MAC vs. MAM.....</i>	<i>85</i>
<i>Ilustración 61. Gráfico Comparativo entre la relación polvo/asfalto de la MAC y MAM.....</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 62. Gráfico Comparativo entre la relación estabilidad/flujo de la MAC vs. MAM</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 63. Gráfico Comparativo de los resultados del ensayo de Lottman Modificado de una MAC vs MAM</i>	<i>89</i>
<i>Ilustración 64. Gráfico Comparativo de los resultados del ensayo de Módulo Resiliente de una MAC vs. MAM</i>	<i>90</i>
<i>Ilustración 65. Gráfico Comparativo de los resultados del ensayo de mezclas bituminosas mediante la pérdida por desgaste – Cántabro de una MAC vs MAM</i>	<i>91</i>
<i>Ilustración 66. Gráfico Comparativo de los resultados de los análisis de costos unitarios de una MAC vs MAM</i>	<i>93</i>

RESUMEN

El propósito de esta investigación fue diseñar una MAC modificada con PET reciclado para tránsito mediano, evaluando la influencia del Tereftalato de Polietileno según los parámetros de diseño según Marshall para lo cual se elaboraron especímenes con diferentes porcentajes de contenido de asfalto (4, 4.5, 5, 5.5, 6%.) donde los resultados indicaron el óptimo C.A de 5.8%, posteriormente a este fueron incorporados los porcentajes de 1%, 3%, 5% y 7% siendo un total de 105 especímenes cilíndricas, sometidas al ensayo de Marshall para definir sus propiedades físicas y mecánicas. Los resultados indicaron que el porcentaje óptimo de PET en escamas es del 1% en relación al peso total de los agregados mejorando la Estabilidad de la mezcla asfáltica modificada, mientras que el resto de los parámetros de diseño se mantienen dentro de los requerimientos exigidos en las especificaciones técnicas del MTC EG-2013, a excepción del Flujo. Para ello luego de definir los parámetros de diseño se realiza una comparación sobre la influencia del 1% PET para una MAC modificada y una convencional mediante los ensayos de Lottman Modificado, Módulo Resiliente y Cántabro, además de un análisis económico. Los resultados de los ensayos respecto a la MAC modificada fueron un 93.791% de resistencia al daño por humedad inducida, asimismo un módulo resiliente de 4113.6691 Mpa y una pérdida de desgaste de 2.52%.

Palabras clave: Mezcla Asfáltica, Tereftalato de Polietileno, PET reciclado, Lottman Modificado, Módulo Resiliente, Cántabro.

ABSTRACT

The purpose of this research was to design a modified MAC with recycled PET for medium traffic, evaluating the influence of Polyethylene Terephthalate according to the design parameters according to Marshall, for which specimens with different percentages of asphalt content (4, 4.5, 5, 5.5, 6%) were elaborated, where the results indicated the optimal C.A of 5.8%, later on, the percentages of 1%, 3%, 5% and 7% were incorporated, making a total of 105 cylindrical specimens, subjected to the Marshall test to define their physical and mechanical properties. The results indicated that the optimal percentage of PET flakes is 1% in relation to the total weight of the aggregates, improving the stability of the modified asphalt mixture, while the rest of the design parameters remain within the requirements demanded in the technical specifications of MTC EG-2013, with the exception of the Flow. To this end, after defining the design parameters, a comparison is made on the influence of 1% PET for a modified MAC and a conventional one using the Modified Lottman, Resilient Modulus and Cantabrian tests, in addition to an economic analysis. The results of the tests regarding the modified MAC were a 93.791% resistance to damage by induced moisture, as well as a resilient modulus of 4113.6691 Mpa and a wear loss of 2.52%.

Keywords: Asphalt Mixture, Polyethylene Terephthalate, recycled PET, Modified Lottman, Resilient Modulus, Cantabrian Tests.

INTRODUCCIÓN

La contaminación global por botellas de plástico es un problema significativo debido a la gran cantidad de residuos plásticos que se generan y su persistencia en el medio ambiente. Una solución innovadora para mitigar este problema es el uso de botellas de plástico recicladas en las mezclas asfálticas. Al incorporar PET reciclado en el asfalto, se pueden mejorar las propiedades de las mezclas asfálticas, como la durabilidad y el desempeño, mientras se reduce la cantidad de residuos plásticos en los vertederos y océanos. Este enfoque no solo ayuda a gestionar mejor los residuos plásticos, sino que también contribuye a la creación de carreteras más sostenibles y de mayor rendimiento.

En Estados Unidos, se propone el cambio del uso de botellas pequeñas a envases más grandes, esto podría reducir significativamente la producción de residuos plásticos. Además, se propone que al sustituir el 20% de las botellas pequeñas por envases grandes podría disminuir la producción anual de tereftalato de polietileno (PET) en más de 10.000 toneladas. Este enfoque busca mejorar la eficiencia del envasado y disminuir la contaminación ambiental, mitigando el riesgo de que la fabricación de residuos plásticos se duplique en el futuro.[1]

En Asia, varios países han implementado medidas para evitar residuos plásticos debido a la acumulación excesiva de basura destinada al reciclaje. China, que durante años fue uno de los principales recicladores de plástico mundialmente reconocido, se convirtió en un destino principal para la exportación de residuos plásticos de países industrializados. Sin embargo, gran parte de estos residuos terminan en vertederos, incinerados o contaminando ecosistemas marinos y terrestres. Este ejemplo ha sido seguido por otros países de la región, como Malasia e Indonesia, donde se han identificado grandes cantidades de residuos plásticos. Por otro lado, China dejó de recibir residuos plásticos, Latinoamérica y el Caribe ha mostrado un aumento significativo en la generación de desechos, especialmente de los EE. UU.[2]

El MINAM logró estimar que nuestro país genera alrededor de 6.8 millones de toneladas de residuos sólidos mensuales; identificando entre ellos residuos plásticos de construcción.[3]

Además, el Perú consume anualmente 947.000 toneladas de plástico, de las cuales el 75% se convierten en residuos y 0.3% son recicladas. Siendo solo el 4% reutilizadas para fabricar nuevos envases y el resto van a parar a botaderos y rellenos sanitarios, lo cual impulsó al Ministerio del Ambiente a incorporar técnicas de economía circular

elaborando diferentes propuestas, donde garanticen un aprovechamiento óptimo y consciente de los recursos naturales.[4]

Chiclayo carece de un organismo supervisor activo y diligente que brinde a la población confianza en la gestión y ejecución de las obras, especialmente en las estructuras viales urbanas y rurales. Además, existe una notable falta de comunicación con los ciudadanos, tanto a nivel peatonal como de tránsito. El reciclaje en Chiclayo es una actividad diaria pero poco rentable. En este contexto, surge la necesidad de un reciclaje coherente, utilizando estos residuos como agregados alternativos en la fabricación de pavimentos asfálticos. Aproximadamente el 75% del PET recuperado se utiliza para fabricar fibras de alfombras, ropa y geotextiles, mientras que el 25% restante se transforma en láminas para termoformado, envases para productos no alimenticios, o se usa en aplicaciones de moldeo. Este proyecto propone el uso de PET reciclado en la modificación del asfalto, convirtiéndose en una nueva técnica para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías.[5]

Entre las ventajas de esta técnica incluye la disminución de residuos plásticos que desembocan a las fuentes de agua y rellenos sanitarios; además se espera fortalecer la recolección y el trabajo de los recicladores, al promover los desechos plásticos como un recurso de valor.[6]

Los plásticos se encuentran presentes constantemente en la economía global, por lo que serían la mejor opción debido a su controversia y alto perfil. El reciclaje de plástico representa una amenaza debido a sus bajas tasas de recuperación, sin embargo, aplicarlo en la mezcla asfáltica es una solución ante presión ambiental y la demanda de la escasez de recursos naturales. Se ha sugerido el reciclaje de desechos plásticos en mezclas asfálticas utilizando un tratamiento seco y húmedo.[7]

Las vías, debido a su naturaleza, están constantemente expuestas a factores agresivos como las cargas del tránsito y las condiciones climáticas, lo que causa deterioro y reduce la calidad y confort del pavimento, incrementando los costos de mantenimiento. Por ello, es necesario utilizar nuevas tecnologías constructivas que mejoren las propiedades originales de la mezcla.[8]

El cemento asfáltico, compuesto de betún y áridos, es un material particularmente sensible en comparación con otras configuraciones empleadas en ingeniería civil. Por esta razón, científicos e ingenieros se esfuerzan continuamente por mejorar el rendimiento de los materiales asfálticos. La modificación del ligante asfáltico es una estrategia adoptada para optimizar el desempeño del pavimento. En la actualidad, se utilizan diversos

materiales para reforzar el hormigón asfáltico, entre los cuales las fibras y los polímeros son dos ejemplos destacados. Sin embargo, se ha señalado que, de entre los numerosos modificadores del asfalto, las fibras han recibido especial atención debido a sus efectos mejoradores.[9]

Esta problemática, junto con las exigencias y necesidades actuales delineadas por el Protocolo de Kioto, impulsa la búsqueda continua de soluciones ambientalmente responsables para alcanzar una infraestructura de transporte sostenible.[10]

La modificación de mezclas asfálticas con polímeros reciclados ofrece múltiples beneficios. Entre los más destacados se encuentran la mejora en el desempeño de la mezcla y el aumento de su durabilidad. Además, contribuye a reducir la cantidad de residuos plásticos que carecen de un manejo adecuado de desechos. Los problemas de deformación se deben a cargas superiores a las planificadas para la vía, además del agrietamiento causado por la repetición de estas cargas. Asimismo, cuando el agregado y el asfalto pierden su capacidad de adherencia debido a factores como el agua, se produce un daño por humedad. Perdiendo su recubrimiento sobre los agregados, y el desprendimiento del material de la superficie de las mezclas asfálticas.[11]

Estos fenómenos provocan graves accidentes que afectan la seguridad y salud de los usuarios. Según el Informe de la Situación de la Seguridad Vial de la Organización Panamericana de la Salud, los accidentes de tráfico son la causa más común de fallecimiento entre los jóvenes.[12]

La presente investigación encuentra su fundamentación en las siguientes justificaciones: La justificación social de la investigación, los pavimentos del Perú enfrentan diversos problemas de fallas y/o deterioro en su estructura. Estos pueden causar un mal aspecto de las carreteras y accidentes vehiculares con mayor frecuencia, debido al creciente incremento de tránsito de carga pesada teniendo la necesidad de abordar los efectos provocados por el deterioro prematuro. Por esta razón la utilización del reciclado del plástico permitirá optimizar la calidad de vida de nuestro país, asimismo fomentará la concientización de los ciudadanos sobre los beneficios que brinda una gestión apropiada de los residuos sólidos, además de la urgencia de minimizar el consumo de determinados materiales que no cuentan con un programa de disposición final.

La justificación financiera/económica de presente investigación, la incorporación del PET a una MAC es una solución ante la creciente preocupación causada por la mal gestión de residuos plásticos y la escasez de infraestructuras de disposición final traen como consecuencia impactos negativos en la economía del Perú. Por ello, permitirá impulsar la

aplicación de un nuevo modelo de economía circular; la cual promueve la optimización de recursos, disminuye el consumo de materias primas y el reaprovechamiento de los residuos; permitiendo la prolongación de su ciclo de vida.

La justificación ambiental, la utilización del plástico reciclado les brinda una nueva vida a través de la reutilización a los diversos envases de plástico flexible que probablemente terminen como residuos en un relleno sanitario. Adicionalmente, esta nueva tecnología no solo brinda una solución potencial el manejo de residuos, sino que también favorecerá en el descenso de la huella de carbono minimizando su impacto en el planeta. Dichas prácticas influyen en la producción de GEI en los vertederos, lo que afecta al cambio climático.

El propósito con esta investigación es lograr responder a la siguiente interrogante, ¿La incorporación del plástico reciclado PET logrará influir en el desempeño estructural y durabilidad de las mezclas asfálticas en caliente?

La incorporación del plástico reciclado PET a las MAC modificadas influyen en su calidad con respecto a altos estándares de desempeño estructural, brindando una mayor capacidad de durabilidad y resistencia a elevadas temperaturas. Para determinar la influencia indicada se seguirán los objetivos descritos a continuación.

Diseñar una MAC incorporando plástico reciclado PET para optimizar su desempeño estructural y durabilidad. Para lograr este objetivo se han trazado objetivos específicos, los cuáles son: Caracterizar las propiedades físicas y mecánicas del PET. Estimar la proporción de PET necesaria para diseñar una MAC. Evaluar la estabilidad, fluencia y estabilidad/fluencia de una MAC incorporando plástico reciclado PET. Evaluar la resistencia al daño por humedad inducida de una MAC incorporando plástico reciclado PET. Evaluar la resiliencia por tracción indirecta de una MAC incorporando plástico reciclado PET. Evaluar la pérdida de desgaste de una MAC incorporando plástico reciclado PET. Comparar una MAC adicionando PET con una convencional. Determinar el costo que implica emplear una MAC que ha sido modificada con PET.

REVISIÓN DE LITERATURA

Antecedentes

Según Ahmad & Ahmad [13] En su estudio determinaron un porcentaje de PET del 0.6% respecto al peso de la briqueta, resultó en un incremento del 26.16% en contraste a lo tradicional, simultáneamente decreció el flujo aun 17.74%. Estos resultados coinciden estrechamente con el contenido óptimo de PET y el aumento en la estabilidad encontrados en investigaciones previas. Sin embargo, los valores de flujo no coinciden, lo cual puede deberse a que en este estudio se demostró un porcentaje de vacíos del 4.2% en lugar del 4%. Es importante señalar que la adición de PET a la mezcla asfáltica contribuye a una mayor durabilidad de la mezcla modificada, reduciendo así el índice de deformación.

Según Ortiz [14] La metodología de su investigación empleada combina enfoques teóricos y prácticos para evaluar las propiedades de un diseño de MAC utilizando el método Marshall. Comparando el diseño de MAC modificada, incorporando una proporción de agregado de PET, y un diseño convencional. La finalidad principal fue comparar de las características físicas y mecánicas de ambas mezclas, buscando determinar las ventajas o diferencias que aporta la incorporación del PET. Empleando asfalto PEN 60/70 desde 4 a 6% con incrementos de 0.5% y un 5% de PET, se determinó que el % de vacíos obtenido no se encuentra dentro de los límites establecidos, que son del 3 al 5 %. Esto significa que no se cumplen los parámetros requeridos, ya que la incorporación de PET ejerce un % vacíos adicional en la mezcla.

Según Berrío [15] El objetivo de su investigación fue diseñar el MAC con la adición de PET triturado. La metodología consistió en evaluar la estabilidad y el flujo, así como en examinar los parámetros volumétricos, la deformación plástica y el ensayo de módulo resiliente. Los resultados mostraron que el contenido óptimo de PET era del 1% y el C.A ideal era del 5.3%. Se concluyó que el diseño de la mezcla modificada cumplió con los requisitos de estabilidad establecidos mejorando en un 13.46% en comparación con el MAC estándar, mientras que el flujo aumentó un 3%.

Según Ramírez et al. [16] El objetivo de su investigación fue determinar qué propiedades de las mezclas asfálticas en caliente mejoran con el uso de PET, se realizaron ensayos de comportamiento mecánico de los agregados y se analizaron las propiedades del asfalto. Se propusieron diferentes proporciones de PET entre 3 y 7 % de la cantidad total del asfalto, y también en 5 y 11 % basándose en algunos antecedentes. Se evaluaron la

estabilidad y el flujo de la mezcla modificada y se determinó que el % óptimo C.A a utilizar es del 5 % para los contenidos de PET de 3 %, 5 % y 7 %. Encontraron una mejora en la estabilidad del 79 % con un 5 % de PET, aunque la deformación de la mezcla aumentó con el 8 %.

Según Corbacho [17] Su propósito investigativo estableció la constatación a la solidez en Marshall, con base a una MAC modificada se realizó estudios a la deformación persistente con la rueda cargada de Hamburgo. Se realizó un análisis granulométrico conforme al MTC EG-2013 y se utilizaron fibras de PET en proporciones del 0.2% al 4%. Con la prueba Marshall, se calcula el CA al mismo tiempo se modificó la mezcla con fibras de PET en vía seca. El contenido óptimo asfáltico obtenido fue del 6,15%, considerándose estable con 938 kg, al mismo tiempo su flujo va en 13,8. La capacidad óptima en fibras PET fue del 1,2%, dando respuesta de 856,3 kg más estables con un flujo de 14,7. La estabilidad disminuyó un 9,6% señalando un 6,52% de incremento a lo convencional. En cuanto a la deformación permanente, el compuesto convencional resistió 6,166 pasadas y la modificada soportó 7,660 pasadas, ambas por debajo del rango mínimo de 20,000 pasadas, incrementándose en un 24%.

Según Tueros [18] El objetivo de su estudio fue evaluar el desempeño de una mezcla frente al ahuellamiento. Se prepararon mezclas convencionales y modificadas con polvo de caucho en proporciones del 1%, 2% y 3% respecto al peso total de la muestra, utilizando cemento asfáltico PEN 85/100 y siguiendo el diseño Marshall. Los resultados indicaron que el contenido óptimo de cemento asfáltico fue del 6.1% para ambas mezclas, mientras que el contenido óptimo de polvo de caucho fue del 1%. En el ensayo de cántabro, la pérdida por desgaste fue del 52,30% para la mezcla convencional, y del 20,56% para la mezcla modificada con polvo de caucho. Se concluyó que la adición de polvo de caucho mejora significativamente el comportamiento frente al ahuellamiento, con aumentos del 85% en estabilidad, del 87% en flujo, del 97% en la relación estabilidad/flujo, del 57% en durabilidad y una reducción del 66,67% en deformación plástica.

Según Silvestre [19] El objetivo de su estudio fue optimizar las propiedades físicas y estructurales de la carpeta de rodadura modificada con PET en comparación con el asfalto convencional. Se llevaron a cabo ensayos con cemento asfáltico PEN 60/70 diseñando mezclas asfálticas con porcentajes de cemento asfáltico variando del 4.5% al 6.5%. Se incluyó un grupo de control con mezcla asfáltica convencional y otro grupo con mezcla

asfáltica modificada utilizando un 1% de PET como relleno. Los resultados mostraron que el porcentaje óptimo de cemento asfáltico para la mezcla convencional fue del 5.6%, mientras que para la mezcla modificada fue del 6.5%. En esta última, se observará un incremento del 3.11% en la estabilidad, junto con una reducción en el flujo, lo que indica mayor elasticidad y menor deformación ante cargas. También se registró una mejora del 4,49% en el índice de rigidez. Finalmente, se concluyó que el costo de producción por metro cúbico de mezcla asfáltica con plástico reciclado es más económico en comparación con la mezcla convencional.

Según Cortez y Mendieta [20] El objetivo de su investigación fue mejorar las propiedades mecánicas de la MAC convencional utilizando PET. Se modificó la MAC por el método de vía húmeda, empleando PET reciclado implementando un método para mejorar las vías pavimentadas. Esta iniciativa busca ofrecer una alternativa a la realidad medioambiental y reducir la contaminación masiva de plásticos. Mediante el método de Marshall, se diseña tanto una MAC convencional y una modificada con PET reciclado, agregando este polímero en proporciones de 0.5 a 1.5%. Además, se evaluó la resistencia al daño por humedad inducida y la TRS mediante el ensayo Lottman Modificado donde cada muestra fue analizada según el MTC EG – 2013.

Según Alvines [21] El objetivo de su investigación fue diseñar una MAC modificada con PET de botellas de plástico recicladas para un tipo de tráfico pesado según el método de Marshall. Los resultados mostraron un % óptimo de plástico de 0.5% y un % de C.A de 5.8%. Finalmente concluyó que la MAC mejora su desempeño según los parámetros Marshall, a excepción del Flujo el cual supera los límites de diseño establecidos en MTC EG-2013.

Según Vásquez [22] El objetivo de su investigación se centra en el uso de polietileno de tereftalato (PET), en mezclas asfálticas en caliente para las tres clases de tránsito. Se utilizó cemento asfáltico PEN 60/70 para cumplir con las normativas, y se aplicó el método Marshall para evaluar los resultados de las mezclas con adiciones de PET al 1%, 2%, 3% y 4% del peso total de la mezcla. Se observó que la adición aumentó el % de vacíos y disminuyó el % V.M.A. y %VLLCA. Sin embargo, la estabilidad/flujo con PET mostró valores aceptables, aunque menores que la mezcla tradicional. Los costos unitarios de la mezcla con 1% de PET fueron determinados por metro cúbico, cumpliendo con los parámetros normativos.

Bases teóricas

Mezclas asfálticas

Kraemer et al. [23] Conocidas también como aglomerados, están compuestas de la fusión de un ligante hidrocarbonado y agregados, donde los agregados permanecen protegidos por una capa de dicho ligante. Son producidas en plantas fijas o móviles y posteriormente son trasladados a la obra, siendo extendidos y compactados.

Según Quintana et al. [24] Existen diferentes clases de mezclas asfálticas que se caracterizan por emplear agregados con granulometría y cumplir con los requerimientos mínimos de calidad específicos. Sin embargo, también hay diferencias en la composición del pavimento y en el ligante utilizado, dependiendo del caso.

Componentes de Mezclas Asfálticas

Cemento asfáltico

Según el MTC, EG 2013 [25] Material bituminoso aglomerante, caracterizado por su solidez, empleado en la fabricación de MAC el cual debe poseer una apariencia uniforme, no presentar humedad y evitar generar burbujeo cuando se expone a una elevada temperatura de 175°C. Existen diferentes clases de cemento asfáltico, sin embargo el empleado en MAC se clasificará según su viscosidad absoluta y por penetración. Se puede modificar mediante la añadidura de aditivos químicos de diversas características, como rejuvenecedores, polímeros u otros productos certificados, siempre y cuando cumplan con ensayos de calidad y estén en conformidad con las especificaciones técnicas.

Gallegos et al. [26] indican que la elección del tipo de C.A se basa en relación en las circunstancias climatológicas de temperatura y en las cargas de tráfico actuales. El grado de desempeño (PG) es utilizado como una medida más precisa para evaluar las condiciones climáticas de temperatura y determinar el rango en el cual el asfalto puede cumplir con los requisitos establecidos.

Zegarra [27] El principal objetivo de agregar polímeros al asfalto es reducir su vulnerabilidad al calor, mejorando su comportamiento elástico y aumentando su resistencia a la deformación constante en condiciones intensas de altas temperaturas durante su desempeño. Además, los polímeros ayudan en la reducción de grietas a bajos niveles de temperaturas y la fatiga del asfalto.

Según la STC [28] Se sugiere ejecutar modificaciones del PG elegido, considerando las condiciones del clima como el impacto del tráfico y con la velocidad de operación. Estos ajustes son necesarios para asegurar un desempeño óptimo del asfalto en el pavimento,

teniendo en cuenta las cargas y las condiciones de uso a las que estará expuesto. Es importante adaptar el PG a las características específicas del proyecto para garantizar la durabilidad y resistencia adecuadas del pavimento.

Tabla 1. Selección del tipo de cemento asfáltico

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

Fuente: MTC (EG, 2013)

Agregados Pétreos y Filler o relleno mineral

Según EG [25] Los agregados se utilizan en diferentes tratamientos y mezclas asfálticas para garantizar que, al ser recubiertos con una capa de asfalto, no presenten desprendimiento debido a la humedad y al tránsito. Los agregados gruesos deben provenir de la desintegración de rocas, material granular o una mixtura de las dos. Estos fragmentos deben ser pulcros, fuertes y duraderos, evitando la presencia excesiva de partículas planas, alargadas, blandas o que se desintegren fácilmente. El agregado fino estará comprendido por arena triturada o la amalgama con arena natural, cuya cantidad será determinada en el diseño. En cuanto al polvo mineral (Filler), puede obtenerse mediante la trituración de agregados, el uso de cal hidratada o cemento portland tipo I. Antes de utilizar el polvo mineral en la mezcla, se debe verificar su granulometría, la cual se establece de acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas. Al combinarse los constituyentes, debe acatar con una granulometría y los parámetros indicados en las especificaciones técnicas.

Tabla 2. Requerimientos de calidad para los agregados gruesos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤ 3.000	> 3.000
Durabilidad (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.

Fuente: MTC (EG, 2013)

Tabla 3. Requerimientos de calidad para los agregados finos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤ 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 111	30	40
Azul de metileno	AASTHO TIP 57	8 máx	8 máx
Índice de Plasticidad (malla 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 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.

Fuente: MTC (EG, 2013)

Ensayos de caracterización de los agregados

Método de ensayo para contenido de humedad total de los agregados por secado

Normativa: NTP 339.185. Prueba empleada para determinar la cantidad de agua existente en los agregados mediante el secado. Además, se deben tener en cuenta el tamaño de la muestra mostrada a continuación[14]:

Tabla 4. Tamaño de la muestra de agregado

Tamaño máximo nominal de agregado mm (pulg)	Masa mínima de la muestra de agregado de peso normal en Kg
4,75 (0,187) (N° 4)	0,5
9,5 (3/8)	1,5
12,5 (1/2)	2,0
19,0 (3/4)	3,0
5,0 (1)	4,0
37,5 (2 1/2)	6,0
50,0 (2)	8,0
63,0 (2 1/2)	10,0
75,0 (3)	13,0
90,0 (3 1/2)	16,0
100 (4)	25,0
150 (6)	50,0

Fuente: MTC (EG, 2013)

Calcular el contenido de humedad total evaporable de la siguiente manera:

$$P = \frac{100 (W - D)}{D}$$

Dónde:

P = Contenido total de humedad total evaporable de la muestra en porcentaje

W = Masa de la muestra húmeda original en gramos

D = Masa de la muestra seca en gramos

Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos

Normativa: MTC E 204. Prueba empleada para determinar la gradación y distribución de las partículas de los agregados mediante diferentes tamices, incluyendo aquellos hasta la malla N° 200. Además, se deben tener en cuenta los requerimientos presentados a continuación[14]:

Tabla 5. Cantidad mínima de muestra de agregado grueso

Tamaño Máximo Nominal Abertura Cuadrada		Cantidad mínima de muestra de ensayos
mm	pulg	Kg
9,5	3/8	1
12,5	½	2
19,0	¾	5
25,0	1	10
37,5	1 1/2	15
50,0	2	20
63,0	2 1/2	35
75,0	3	60
90,0	3 1/2	100
100,0	4	150
125,0	5	300

Fuente: MTC (EG, 2013)

Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio

Normativa: MTC E 209. Prueba empleada para determinar la resistencia a la desintegración de agregado fino y grueso por medio de su inmersión en sulfato de magnesio. Además se deben tener en cuenta algunas consideraciones mostradas a continuación [25]:

Tabla 6. Tamices en los cuales se evaluará el agregado fino

Pasa el tamiz normalizado	Retenido sobre el tamiza normalizado
600µm (N° 30)	300µm (N° 50)
1,18 mm (N° 16)	600µm (N° 30)
2,36mm (N° 8)	1,18mm (N° 16)
4,75 mm (N° 4)	2,36 mm (N° 8)
9,50 mm (N° 3/8)	4,75 mm (N°4)

Fuente: MTC (EG, 2013)

Tabla 7. Tamices en los cuales se evaluará el agregado grueso (según gradación)

Tamaño (tamices normalizados de abertura cuadrada)	Peso en g
Consistiendo de:	
9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (N° 4)	300 ± 5
19,0 mm (3/4") a 9,5 mm (3/8")	1 000 ±10
Consistiendo de:	
Material de 12,5 mm (1/2") a 9,5 mm (3/8")	300 ± 5
Material de 19,0 mm (3/4") a 12,5 mm (1/2")	670 ±10
37,5 mm (1 ½") a 19,0 mm (3/4")	1 500 ± 50
Consistiendo de:	
Material de 25,0 mm (1") a 19,0 mm (3/4")	500 ± 30

Material de 37,5 mm (1 ½") a 25,0 mm (1")	1 000 ± 50
63,0 mm (2 ½") a 37,5 mm (1 ½")	5 000 ± 300
Consistiendo de:	
Material de 50,0 mm (2") a 37,5 mm (1 ½")	2 000 ± 200
Material de 63,0 mm (2 ½") a 50,0 mm (2")	3 000 ± 300
Para Tamaños mayores se aumentará el tamaño del tamiz en Incrementos de 25,0 mm (1") para cada fracción.	7 000 ± 1 000

Fuente: MTC (EG, 2013)

Tabla 8. Tamices para ensayos en agregado grueso después de eliminar sulfatos

Tamaño del agregado	Tamiz normalizado usado para determinar la pérdida
63 mm (2 ½") a 37,5 mm (1 ½")	31,5 mm (1 ¼")
37,5 mm (1 ½") a 19,0 mm (¾")	16,0 mm (5/8")
19,0 mm (¾") a 9,5 mm (3/8")	8,0 mm (5/16")
9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (Nº 4)	4,0 mm (Nº 5)

Fuente: MTC (EG, 2013)

Sales Solubles en agregados para pavimentos flexibles

Normativa: MTC E 219. Prueba empleada para determinar el contenido de sulfatos disueltos en agua. Además se deben tener en cuenta el peso de la muestra mostradas a continuación [25]:

Tabla 9. Peso de muestra según el tipo de agregado

Agregado Pétreo	Cantidad mínima (g)	Aforo mínimo(mL)
Grava 50 – 20 mm	1000	500
Grava 20 – 5 mm	500	500
Arena 20 mm	100	500

Fuente: MTC (EG, 2013)

Calculamos mediante la siguiente relación:

$$\text{Sales solubles (\%)} = \frac{1}{\frac{C \times A}{D \times B} - 1} \times 100$$

Peso específico y absorción de agregados gruesos

Normativa: MTC E 206. Prueba empleada establecer la gravedad específica de una muestra que ha sido deshidratada, saturada con superficie seca y pesada en relación con la absorción del agregado grueso. Se utilizan las siguientes fórmulas para realizar los cálculos [25]:

Tabla 10. Peso mínimo de la muestra de ensayo

Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)	Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo Kg (lb)
12,5 (1/2) o menos	2 (4,4)
19,0 (¾)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 ½)	5 (11)

50,0 (2)	8 (18)
63,0 (2 ½)	12 (26)
75,0 (3)	18 (40)
90,0 (3 ½)	25 (55)
100,0 (4)	40 (88)
112,0 (4 ½)	50 (110)
125,0 (5)	75 (165)
150,0 (6)	125 (276)

Fuente: MTC (EG, 2013)

Para el cálculo se utilizan las siguientes fórmulas:

$$Pe_m = \frac{A}{(B - C)} \times 100$$

Dónde:

A = Peso de la muestra seca en el aire, gramos;

B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, gramos;

C = Peso en el agua de la muestra saturada.

Peso específico de masa saturada con superficie seca (Pe_{sss})

$$Pe_{sss} = \frac{B}{(B - C)} \times 100$$

Peso específico aparente (Pe_a)

$$Pe_a = \frac{A}{(A - C)} \times 100$$

Absorción (A_b)

$$A_b = \frac{(B - A)}{A} \times 100$$

Abrasión Los Ángeles (L.A.) al Desgaste de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 ½")

Normativa: MTC E 207. Prueba empleada para determinar de la resistencia a la separación de partículas de agregados gruesos de tamaños más pequeños por Abrasión en la Máquina de Los Ángeles. Además se deben tener en cuenta la carga y la gradación mostradas a continuación [25]:

Tabla 11. Carga según tipo de gradación de la muestra para el ensayo de abrasión.

Gradación	Número de Esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 25
D	6	2500 ± 25

Fuente: MTC (EG, 2013)

Tabla 12. Gradación de las muestras de ensayo

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 ½")	25,0 mm (1")	1250 ± 25	-	-	-
25,0 mm (1")	19,0 mm (¾")	1250 ± 25	-	-	-
19,0 mm (¾")	12,5 mm (½")	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-
12,5 mm (½")	9,5 mm (⅜")	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-
9,5 mm (⅜")	6,3 mm (¼")	-	-	2500 ± 10	-
6,3 mm (¼")	4,75 mm (Nº 4)	-	-	2500 ± 10	-
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)	-	-	-	5000
TOTAL		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: MTC (EG, 2013)

Método de Ensayo Estándar para la determinación del porcentaje de Partículas Fracturadas en el Agregado Grueso

Normativa: MTC E 2010 Prueba empleada para determinar el % de partículas fracturadas de una muestra de agregado grueso. Además se deben tomar en cuenta los requerimientos según su TMN mostradas a continuación [25]:

Tabla 13. Peso de muestra con relación al tamaño del agregado

Tamaño Máximo Nominal Muestra de ensayo mínima mm (pulg.)	Abertura Cuadrada, mm (pulg.) Masa, g (aprox. lb.)
9,5 (3/8)	200 (0,5)
12,5 (1/2)	500 (1)
19,0 (3/4)	1 500 (3)
25,0 (1)	3 000 (6,5)
37,5 (1 ½")	7 500 (16,5)
50,0 (2)	15 000 (33)
63,0 (2 ½)	30 000 (66)
75,0 (3)	60 000 (132)
90,0 (3 ½)	90 000 (198)

Fuente: MTC (EG, 2013)

Para el cálculo del % de masa o de conteo de partículas con el número especificado de caras fracturadas se utiliza la siguiente fórmula:

$$P = \frac{F}{(F + N)} \times 100$$

Donde:

P = porcentaje de partículas con el número especificado de caras fracturadas,

F = masa o cantidad de partículas fracturadas con al menos el número especificado de caras fracturadas,

N = masa o cantidad de partículas en la categoría de no fracturadas o que no entran en el criterio de partícula fracturada.

Partículas chatas y alargadas en agregados para pavimentos flexibles

Normativa: MTC E 223. Prueba empleada para determinar el % de partículas chatas o alargadas en el agregado grueso relacionadas con la ruptura de las partículas durante el proceso de compactación y elaboración de la mezcla. Además se deben tomar en cuenta los pesos mínimos según su TMN mostradas a continuación [25]:

Tabla 14. Pesos mínimos requeridos para el ensayo dependiendo del tamaño máximo nominal

Tamaño máximo nominal malla cuadrada mm – (pulgada)	Peso mínimo de la muestra de ensayo kg – (lb)
9,5 (3/8)	1 (2)
12,5 (1/2)	2 (4)
19,0 (3/4)	5 (11)
25,0 (1)	10 (22)
37,5 (1 1/2")	15 (33)
50,0 (2)	20 (44)
63,0 (2 1/2)	35 (77)
75,0 (3)	60 (130)
90,0 (3 1/2)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
112 – (4 1/2)	200 (440)
125 (5)	300 (660)
150 (6)	500 (1100)

Fuente: MTC (EG, 2013)

Los índices de aplanamiento y alargamiento de cada fracción de ensayo se utilizan las siguientes fórmulas:

$$\text{Índice de aplanamiento } (I_{ai}) = \frac{P_{ai}}{P_i} \times 100$$

$$\text{Índice de alargamiento } (I_{ai}) = \frac{P_{li}}{P_i} \times 100$$

Gravedad específica y absorción de agregados finos

Normativa: MTC E 205. Prueba empleada para establecer la gravedad específica de una muestra que ha sido deshidratada, saturada con superficie seca y pesada en relación con la absorción del agregado fino. Las siguientes fórmulas se utilizan para realizar los cálculos [25]:

$$Pe_m = \frac{W_o}{(V - V_a)} \times 100$$

Dónde:

Pe_m = Peso específico de masa

W_o = Peso en el aire de la muestra secada en el horno, g;

V = Volumen del frasco en cm^3

V_a = Peso en gramos o volumen en cm^3 de agua añadida al frasco.

Peso específico de masa saturado con superficie seca (Pe_{sss})

$$Pe_{sss} = \frac{500}{(V - V_a)} \times 100$$

Peso específico aparente (Pe_a)

$$Pe_a = \frac{W_0}{(V - V_a) - (500 - W_0)} \times 100$$

Absorción (Ab)

$$Ab = \frac{500 - W_0}{V_a} \times 100$$

Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino

Normativa: MTC E 114: Prueba empleada para cuantificar la presencia de suelos arcillosos, finos plásticos y polvo implica el cálculo del equivalente de arena mediante la siguiente fórmula [25]:

$$SE = (Lectura\ de\ arena / lectura\ de\ arcilla) \times 100$$

Donde:

SE = Arena equivalente

Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.)

Normativa: MTC E 111. Prueba empleada para determinar el L.P y calcular del índice de plasticidad cuando conoce el L.L. El cálculo del límite plástico es mediante el promedio de dos contenidos de humedad, done se utiliza la siguiente fórmula [25]:

$$Límite\ plástico = \frac{Peso\ de\ agua}{Peso\ de\ suelo\ secado\ al\ horno} \times 100$$

Por otro lado, el cálculo del índice de plasticidad se realiza mediante la diferencia de límite líquido y límite plástico.

Ensayo de Azul de metileno

Normativa: AASHTO TP 57: Prueba empleada para la detección de arcillas perniciosas en agregados mediante el azul de metileno. El procedimiento se detendrá cuando se observe claramente el halo azul. Para determinar su cantidad se utiliza la siguiente fórmula [25]:

$$MBV = \frac{C_{sol}}{C_{filler}}$$

Dónde:

MBV [mg/g] = Valor de azul de metileno, con aproximación de 0.1 mg/g.

C_{sol} [mg] = Cantidad de azul de metileno necesario para alcanzar el punto final del ensayo.

C_{filler} [g] = Cantidad de material contenido en la suspensión.

Filler o relleno mineral

Es utilizado para adecuar la gradación de los agregados cuando no acatan los estándares determinados en las especificaciones técnicas. Se utiliza como espesante optimizando las características de la mezcla. Cumplirá con la norma AASHTO-M303 y la ASTM D-242.

Las cantidades específicas estarán definitivas en el diseño.[25]

Mejorador de adherencia

Estos materiales serán utilizados para la mejor adhesión de los agregados y el asfalto.

Para adquirir una mejor adherencia, se pueden emplear diversos elementos certificados de alta calidad. Se evalúa con las pautas señaladas en la norma AASHTO T283.[25]

Propiedades de las Mezclas Asfálticas

Según Asphalt Institute [29] Se desempeñan satisfactoriamente porque están diseñadas, fabricadas e instaladas para lograr una calidad óptima en los pavimentos. Estas propiedades contribuyen al desempeño adecuado y la longevidad del pavimento, entre ellas tenemos:

a) Estabilidad

Facultad de resistencia al desplazamiento y a la deformación influenciada por cargas. El pavimento presenta la capacidad de conservar su estructura e integridad ante cargas constantes. Por otro lado, el inestable muestra signos de deformación como ahuellamientos, ondulaciones u otros tipos de alteraciones sobre la superficie. La estabilidad es una característica clave que influye en la durabilidad y el rendimiento durante toda su vida útil.[29]

b) Durabilidad

Facultad de resistencia a la descomposición del agregado, las alteraciones en las características y el desprendimiento de la capa asfáltica. Estos problemas pueden ser causados por la intervención climatológica, el tráfico o una combinación de los dos. En general, existen diversas maneras de optimizarse: utilizando el porcentaje adecuado de asfalto, empleando una proporción concentrada de agregado que pueda resistir la segregación, y finalmente elaborando y consolidando la mezcla de manera que se logre

la máxima impermeabilidad. Estas medidas contribuyen a mejorar la resistencia del pavimento asfáltico y a prolongar su vida útil.[29]

c) Impermeabilidad

Capacidad de resistencia al paso de aire y agua en contra de la mezcla asfáltica. Vinculada con el contenido de vacíos y es por eso que el problema sobre los vacíos en los parámetros se conecta a la impermeabilidad, además muestra su capacidad para permitir el acceso de aire y agua, pero es importante destacar que el comportamiento de estos vacíos posee más importancia en comparación con su proporción. Al presentar vacíos interconectados puede comprometer la impermeabilidad del pavimento, permitiendo la entrada de agua y aire que pueden causar daños a largo plazo. Por lo tanto, es importante lograr una estructura compacta y uniforme en la mezcla asfáltica para garantizar una buena impermeabilidad.[29]

d) Trabajabilidad

Se caracteriza por su fácil colocación y compactación. Es posible mejorarla mediante cambios en los valores admisibles de diseño, el agregado utilizado y su granulometría. Estos ajustes pueden hacer que la mezcla sea más fluida y maleable, lo que facilita su colocación y compactación en el pavimento durante la construcción. La trabajabilidad adecuada de una mezcla es importante para lograr una compactación eficiente y uniforme, contribuyendo a su calidad y durabilidad.[29]

e) Flexibilidad

Un pavimento asfáltico flexible es capaz de adaptarse a que la subrasante se desplace y asiente sin presentar grietas. Propiedad anhelada en todos los pavimentos asfálticos, ya que prácticamente todas las subrasantes experimentan asentamientos bajo cargas. La mezcla asfáltica que presente una granulometría porosa y un elevado contenido de asfalto tiende a poseer mayor flexibilidad que una mezcla densamente graduada con menor C.A. Sin embargo, en ocasiones, los requisitos pueden entrar en problema con la estabilidad, por lo que se debe existir una compensación entre ambas propiedades. Es importante encontrar el balance adecuado para asegurar que el pavimento sea lo suficientemente flexible para adecuarse a la subrasante y sus movimientos, asimismo ser estable para soportar las cargas del tráfico sin deformaciones excesivas.[29]

f) Resistencia a la fatiga

Capacidad de resistencia a la flexión constante ocasionada por cargas. Está comprobado que tanto el contenido de vacíos como la viscosidad muestran un impacto importante para esta propiedad. Cuando un pavimento presenta un alto porcentaje de vacíos, ya sea debido

a un diseño deficiente o a una ausencia de consolidación adecuada, su resistencia a la fatiga reduce.[29]

g) Resistencia al deslizamiento

Capacidad disminuir el deslizamiento de los neumáticos de automóviles, especialmente presentan humedad, se obtiene in situ a una velocidad de 65 km/h empleando ruedas estándar en condiciones de humedad controlada en la superficie de la carretera.[29]

Características y comportamiento de las Mezclas Asfálticas

Según [29] El análisis de las mezclas asfálticas se pueden realizar con el fin de realizar una evaluación a su desempeño estructural. El estudio se enfoca en cuatro principales características y su correspondiente impacto e influencia de la mezcla. Estas son las siguientes:

a) Densidad

Esta característica se determina mediante el peso por unidad de volumen, es fundamental lograr una elevada densidad garantizando un rendimiento de larga duración.[29]

b) Vacíos de aire

Se pueden encontrar bolsas o vacíos de aire formados de los agregados revestidos al final en la mezcla consolidada. Es esencial en las mezclas que presenten una determinada proporción de espacios vacíos, lo cual permite una mayor compactación debido al tránsito facilitando el flujo del material asfáltico en el transcurso de su elaboración. Es importante destacar que la durabilidad resulta de la cantidad de espacios vacíos; estos serán directamente proporcional a su permeabilidad.[29]

c) Vacíos en el agregado mineral (VMA)

Son cavidades de aire presentes en los fragmentos de agregado, que incluyen otros saturados de material asfáltico. El VMA manifiesta el vacío libre para modificar el volumen del material asfáltico, restando la parte perdida en el agregado y el % de vacíos. Cuando el VMA aumenta, se dispone de más espacio para las capas de asfalto.[29]

d) Contenido de asfalto

La cantidad ideal de asfalto está relacionado con las propiedades del agregado, además de su granulometría y su potencial de absorción.[29]

Mezclas Asfálticas en Caliente

Según el PG-3 [27] La definición de una MAC es básicamente la mezcla de un ligante, agregados conteniendo el filler y, en algunos casos, modificadores, de modo que las partículas del agregado estén revestidas uniformemente de cemento asfáltico. El

procedimiento de elaboración radica en exponer a elevadas temperaturas el ligante y los agregados (excluyendo el filler) y su colocación se deberá ejecutar a una temperatura superior al entorno. Se utilizan asfaltos en su fabricación, aunque en algunos casos se emplean asfaltos modificados, y las cantidades de asfalto en relación al volumen de agregados pétreos pueden oscilar entre el 3% y el 6%.

Gradación de la Mezcla Asfáltica en Caliente

La fabricación de una MAC debe ser ajustada a una de las gradaciones presentadas a continuación. Igualmente, los requerimientos de calidad que deben cumplir los agregados, en su mezcla debe presentar la ausencia de fragmentos de arcilla aceptando el 1% como máximo de fracciones inconsistentes y deben el contenido de materia orgánica y distintos contaminantes. La gradación de una MAC reaccionará a los husos granulométricos, indicados en el manual de ensayos MTC, 2013. Cumplirá con uno de las clases de husos granulométricos, previamente al diseño.[25]

Tabla 15. Husos Granulométricos

Tamiz	Porcentajes		
	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 (4")	43 - 54	51 - 68	65 - 87
2,00 mm (N° 10)	29 - 45	38 - 52	43 - 61
425µm (N° 40)	14 - 25	17 - 28	16 - 29
180 µm (N° 80)	8 - 17	8 - 17	9 - 19
75µm (N° 200)	4 - 8	4 - 8	5 - 10

Fuente: MTC (EG, 2013)

Mezclas Asfálticas Modificadas

Según Pedraza et al. [31] La mezcla asfáltica modificada se obtiene al agregar, disolver o sustituir parcialmente los agregados pétreos por un aditivo modificador, ya sea un polímero u otro tipo de sustancia. Estos aditivos son estables a lo largo del tiempo y resistentes a cambios de temperatura. Su objetivo es mejorar las propiedades del material asfáltico, incrementando su resistencia, comportamiento y rendimiento.

Según Fonseca [32] El ligante asfáltico tradicional resiste a los efectos climatológicos y el tráfico; sin embargo el continuo incremento de la demanda debido a la elevada cantidad de cargas, de presión de inflado, de velocidades, etc., resultando necesario uno que exhiba propiedades reológicas y mecánicas superiores para la elaboración de mezclas.

Métodos de Modificación de las Mezclas Asfálticas

Según Quintana et al. [24] Hay dos métodos para emplear polímeros o aditivos para la modificación de sus características.

- a) **Por vía húmeda:** Se añaden al material asfáltico a elevadas temperaturas y, finalmente se mezcla con los agregados pétreos.[24]
- b) **Por vía seca:** Sustituyen una proporción del agregado pétreo agregándose a una elevada temperatura finalmente se le agrega el material asfáltico.[24]

Mezclas Asfálticas con botellas de plástico reciclado

La adición de envases reciclados a una mezcla asfáltica, en forma de escamas, consiste en utilizar materiales que son estables al exponerse al cambio de temperatura. Optimizando sus propiedades físico mecánicas, asimismo reducen el riesgo a la alteración de temperatura y la humedad. Según diversas investigaciones, su adición aumenta la resistencia a la deformación causada por esfuerzos de tensión constantes y mejora la flexibilidad, lo que reduce la aparición de grietas.[33]

Según Villegas et al. [34] El plástico, en sus diversas formas como: botellas, bolsas, envases, etc. es uno de los materiales más utilizados en nuestra vida diaria, debido a esto su incorporación para modificar de las mezclas asfálticas se ha ejecutado mediante diversas utilidades.

Durante cualquier procedimiento realizar la modificación el asfalto o las mezclas asfálticas, es fundamental examinar el material que se desenvolverá con el papel de agente de modificación, con el objetivo de maximizar su utilidad, incluso si se trata de un material de desecho. Este enfoque garantiza un mejor rendimiento de ambos. Además, al igual que con el modificador, es necesario diseñar y realizar un control de calidad del asfalto modificado durante el proceso.[34]

Ensayos para evaluar el comportamiento de la MAC

Diseño de mezclas asfálticas en caliente mediante el Método Marshall

Se aplica únicamente en MAC utilizadas para los pavimentos, los cuales están compuestos por agregados con un TMN. Se trata de un experimento de laboratorio diseñado para desarrollar una MAC adecuada analizando su estabilidad/fluencia y densidad de vacíos, asegurando una buena durabilidad de la mezcla. Marshall sigue las pautas establecidas en la norma ASTM D 1559/MTC E 504. El procedimiento consiste en ejercer una carga vertical a una probeta hasta producir su fractura.[29]

Metodología del Diseño Marshall

a) Control y calidad de agregados

Según Luque [35] Primeramente para llevar a cabo el diseño de MAC se debe ejecutar un control de calidad de los agregados. Esto implica desarrollar diversos ensayos que brindarán información sobre el proceder esperado de la mezcla asfáltica luego de que sea utilizada en la práctica.

b) Dosificación de la combinación de agregados

La granulometría estará determinada por diversos factores, siendo los más relevantes el espesor de la capa de asfalto diseñado y el TMN del agregado utilizado. Estos factores influyen en la selección de los límites de tamaño de los agregados para garantizar una distribución adecuada de las partículas y efectuar las restricciones de densidad, resistencia y durabilidad del pavimento. Es importante considerar estos aspectos al diseñar la mezcla asfáltica, ya que una granulometría adecuada contribuirá a un desempeño satisfactorio de la resistencia estructural y comportamiento ante las cargas del tráfico.[35]

Procedimiento del Ensayo Marshall

Según Asphalt Institute [29] Se compone de diferentes procesos que permiten analizar las características de una mezcla asfáltica: determinando la gravedad específica, midiendo la estabilidad Marshall, analizando la densidad y el contenido de vacíos.

Gravedad específica

El ensayo consistente en determinar el peso específico se lleva a cabo siguiendo el proceso establecido en la norma ASTM D1188. Realizándose cuando las muestras consolidadas enfrían a una temperatura ambiente.[29]

Ensayos de estabilidad y flujo

Según Asphalt Institute [29] Presenta como objetivo calcular la capacidad de resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica, por otro lado el ensayo de flujo evalúa la deformación que experimenta por cargas aplicadas. El proceso detallado se presenta a continuación:

- a) Las briquetas se exponen al calor mediante el baño maría de agua a 60 °C.[29]
- b) Luego de calentarlas, se retiran del baño maría y se secan rápidamente antes de ser colocadas en el equipo Marshall, el cual aplica una carga a la muestra y midiendo la deformación, también conocida como fluencia.[29]
- c) La fuerza empleada posee una velocidad hasta quebrar la probeta. La carga máxima que la probeta resiste la señala como el valor de estabilidad.[29]

- d) Asimismo, que se registra el valor de la medida de deformación la carga máxima comienza a disminuir. Esta lectura representa la fluencia en ese instante.[29]

Valor de estabilidad Marshall

La estabilidad se refiere al punto en el que la carga aplicada a una probeta de mezcla asfáltica resulta en su cedencia total. Mediante el ensayo, se incrementa gradualmente hasta alcanzar la carga máxima registrada, lo cual determina la estabilidad Marshall. Un valor de estabilidad más alto se considera favorable, ya que indica mejores resultados en términos de resistencia de la mezcla. Buscar una estabilidad muy elevada puede comprometer la facultad de la mezcla para soportar factores como la fatiga y la deformación constante. Surgiendo así la necesidad de hallar un balance entre la estabilidad y la durabilidad. Aunque es deseable un valor alto de estabilidad, se debe considerar cuidadosamente si alcanzar estabilidades extremadamente elevadas.[29]

Valor de fluencia Marshall

El flujo Marshall es un parámetro que muestra la deformación experimentada por la mezcla asfáltica, midiéndose mediante la reducción del diámetro vertical de la muestra durante el ensayo. Sin embargo, cuando los valores de flujo son altos, esto indica que la mezcla es lo suficientemente plástica y posee la capacidad de deformarse fácilmente bajo las cargas del tráfico caso contrario son frágiles y rígidas. Esto implica que la mezcla es más flexible y puede adaptarse mejor a las condiciones del pavimento, lo que resulta en una mayor capacidad de resistir las deformaciones causadas por el tráfico.[29]

Análisis de densidad y vacíos

Este análisis se basa en comparar el peso específico total de las muestras consolidadas con el peso específico teórico de la mezcla sin vacíos. De esta manera, se determina el porcentaje de vacíos al comparar el peso específico total con el máximo teórico de la mezcla, lo cual permite cuantificar la cantidad de aire presente y evaluar su densidad.[29]

Requisitos establecidos para el diseño de mezcla asfáltica en caliente

Deben ser evaluados están establecidos en el MTC, el cual proporciona las especificaciones técnicas generales. Estos valores establecidos fueron comparados con los datos alcanzados tanto del diseño una MAC convencional como una modificada.

Tabla 16. Requisitos del diseño Marshall para mezcla asfáltica en caliente

Parámetros de diseño	Clase de mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
Estabilidad (mínimo)	8.15 KN	5.44 KN	4.53 KN
Flujo 0.01" (0.25 mm)	8 - 14	8 - 16	8 - 20
Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
Relación estabilidad/ flujo (kg/cm) (Rigidez) (2)	1.700 - 4000		

Fuente: MTC (EG, 2013)

Tabla 17. Vacíos mínimos en el agregado natural

Tamiz	Vacíos mínimos en agregado mineral %
	Marshall
1" (25,0 mm)	13
¾" (19,0 mm)	14
½" (12.5 mm)	15
3/8" (9,50 mm)	16
Nº 4 (4.75 mm)	18

Fuente: MTC (EG, 2013)

Ensayo de Lottman Modificado

Normativa: MTC E 522. Prueba empleada para determinar el deterioro causado por la humedad en la MAC se produce por la pérdida de adhesión del C.A y los agregados pétreos. El cálculo se determina mediante el índice y se utilizan las siguientes ecuaciones [36]:

$$ITS = [(2 \times P)/(\pi \times D \times H)]$$

Dónde:

P: Carga máxima aplicado a la muestra hasta la rotura, expresado en kN

D: Diámetro de la muestra de ensayo, expresado en mm

H: Altura de la muestra de ensayo, expresado en mm

Para cada grupo de muestras saturadas y secas, se calcula el valor correspondiente de ITS.

Luego, se determina la relación de TSR dividiendo el valor de ITS de las muestras saturadas entre el valor de ITS de las muestras secas.

$$TSR = ITS_{saturado} / ITS_{seco} \times 100$$

Ensayo de Módulo Resiliente

Normativa: ASTM D-4123. Prueba empleada para replicar las condiciones de campo en las que los materiales del pavimento experimentan cargas de breve duración debido al tráfico se define como la correlación de la tensión de tracción constante en el plano

vertical y la deformación recuperable a diferentes grados temperatura específica. Para el cálculo se utilizará la siguiente fórmula [37]:

$$M_R = \frac{P * (v + 0.27)}{(z * h)}$$

Dónde:

M_R : Módulo de rigidez

P: Carga máxima vertical

z: Deformación horizontal

h: Espesor de la probeta

v: Coeficiente de Poisson (0.35)

Luego de calcular el MR se debe ajustar el factor de superficie de carga de 0.6 aplicando la siguiente fórmula:

$$S_m = S_m * (1 - 0.322 * (\log(S_m) - 1.82) * (0.6 - k))$$

S'_m : Módulo de rigidez ajustado para un factor de superficie de carga

k: Factor de superficie de carga

S_m : Módulo de rigidez

Ensayo de Cántabro

Normativa: MTC E515: Prueba empleada para determinar la pérdida de desgaste empleando la Máquina de los Ángeles. El resultado del ensayo de pérdida por desgaste se calcula con la ecuación [25]:

$$P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

Dónde:

P = Valor de la pérdida por desgaste, en %

P1 = Masa inicial de la probeta, en gramos.

P2 = Masa final de la probeta, en gramos.

Plástico

Espinoza [38] Material formado por resinas, proteínas y otras sustancias, características por ser muy moldeables y modificables en su estructura o forma mediante la aplicación de presión y temperatura adecuadas. Finalmente logran alcanzar el estado característico de los materiales llamados plásticos, resultando con una mayor resistencia a la degradación y además son ligeros.

Según Rojo-Nieto [39] Se obtiene mediante diversos procedimientos técnicos y la mezcla de los aditivos obteniendo las propiedades anheladas, entre ellos tenemos: mayor durabilidad, persistencia, elasticidad, resistencia a la temperatura, propiedades, etc., está compuesto por carbono e hidrógeno; con cantidades menores de otros elementos, como oxígeno, nitrógeno, cloro, azufre, silicio, fósforo, etc. elementos derivados principalmente del petróleo; un material polimérico orgánico que cambia de forma al ser expuesto a elevadas temperaturas, entre las características principales del plástico pueden considerarse su flexibilidad, resistencia, ligereza y aisladores térmicos y eléctricos; cumpliendo con algunas aplicaciones en el asfalto para su aprovechamiento.

Plástico PET

El polietileno de tereftalato (PET), es un polímero generado mediante el petróleo, formado por moléculas, producido por la fusión de ácido tereftalato y etilenglicol. Forman gránulos blancos empleados principalmente en producción de recipientes.[40]

Fue registrado como un polímero para fibra. Este empezó a ser usado a partir de 1955 para la elaboración de envases de líquidos. Con el transcurrir de los años se ha incrementado la industria del plástico y otros materiales siendo sustituidos por el PET, caracterizándose por ser ligero y resistente a la compresión, además de su elevado grado de transparencia y brillo.[41]

Se caracteriza por ser 100% reciclable y tiene la capacidad de producir envases reutilizables, lo que ha propiciado el movimiento otros materiales, como el PVC, que es cada vez más demandante a nivel mundial. Además, es aprovechado para la elaboración de envases. Las botellas son desechadas, ya que la gran mayoría terminan en los rellenos sanitarios donde son depositados los residuos domiciliarios.[42]

Según [43] Los grados de productos de PET más empleados son:

- a) **Grado Textil:** Se emplea en la fabricación de fibras sintéticas, como el poliéster, para reemplazar algunos materiales como el algodón o el lino. Es uno de los polímeros textiles más destacados.[43]
- b) **Grado Botella:** Se emplea ampliamente en la fabricación de botellas debido a sus características favorables, como resistencia química, transparencia, ligereza, bajos costos de producción y facilidad de uso. Aunque se asocia principalmente con el envasado de bebidas, también se utiliza en numerosas aplicaciones en la industria del embalaje.[43]

- c) **Grado Film:** Se emplea en la producción de láminas de plástico a gran escala. Además de ser utilizado en películas fotográficas, de rayos X y de sonido, también se emplea en la fabricación de otros productos como resinas, combustibles alternativos, muebles y autopartes, entre otros. Dado el amplio consumo de productos que contienen PET, se genera una gran cantidad de residuos, promoviendo una cultura de reciclaje en relación con este material.[43]

Características del plástico PET

- a) **Biorientación:** Facilita la obtención de mejores propiedades mecánicas y de barrera al optimizar los espesores.[44]
- b) **Cristalización:** Otorga resistencia térmica, posibilitando el uso de bandejas termoformadas en hornos a temperaturas elevadas durante la cocción.[44]
- c) **Esterilización:** El PET es capaz de resistir procesos de esterilización química con óxido de etileno y radiación gamma.[44]

Propiedades del Plástico PET

Según Sherwell [43] Dado que este material cumple con varios requisitos técnicos. En la actualidad, el desarrollo tecnológico lo ha incorporado ampliamente una diversidad de compuestos y estructuras. Siendo las siguientes sus propiedades más relevantes:

Tabla 18. Datos técnicos del PET

PROPIEDAD	UNIDAD	VALOR
Densidad	g/cm ³	1.34 – 1.39/1.45 – 1.51
Resistencia a la tensión	Mpa	59 – 72
Resistencia a la compresión	Mpa	76 – 128
Resistencia al impacto, Izod	J/mm	0.01 – 0.04
Dureza	-	Rockell M94 -M101
Límite elástico	%	50 - 150
Dilatación térmica	10-4/°C	15.2 – 2.4
Resistencia al calor	°C	80 – 120
Resistencia dieléctrica	V/mm	13780 - 15750
Constante dieléctrica	-	3.65
Absorción de agua (24 horas)	%	0.02
Velocidad de combustión	Mn/min	Consumo Lento
Efecto luz solar	-	Se decolora ligeramente
Calidad de mecanizado	-	Excelente
Calidad Óptica	-	Transparente a opaco
Temperatura de fusión	°C	224 - 254

Fuente: Empresa de plásticos Richardson & Lokensgard

Tabla 19. Características de la Ficha Técnica del PET

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		UNIDAD	VALOR	
Densidad	ISO 1183	g/cm ³	1.36	
Temperatura de Servicio		°C	-40 +10	
Temperatura máxima de servicio en periodos breves		°C	≤ 160	
Esfuerzo en el punto de fluencia	ISO 527	MPa	80	
Elongación a la rotura	ISO 527	%	20	
Módulo de elasticidad a la tensión	ISO 527	MPa	3200	
Resistencia al impacto	ISO 179/1eU	KJ/m ²	82	
Dureza	ISO 13000-2	Shore D	81	
Tiempo límite de rendimiento 1/1000	23%/50% RH 100°C	ISO 899	MPa	12
Temperatura de distorsión térmica	Método A	ISO 75	°C	67
	Método B	ISO 75	°C	165
Punto de Fusión	Método A	ISO 3146	°C	255
Coefficiente de expansión lineal térmica	DIN 53752	1/K 10 ⁻⁵		6
Constante dieléctrica	1 MHz	IEC 250		3.3
Factor de disipación	1MHz	IEC 250		0.02
Resistencia dieléctrica	IEC 243	KV/mm		50
Resistividad volumétrica	ISO 243	Ω- cm		10 ¹⁵
Absorción de humedad a 23° C, 50% RH	ISO 62	%		0.23
Absorción de Agua a 23° C	ISO 62	%		0.5

Fuente: Lork Industrias

Ventajas del Plástico PET

- a) **Ligero y compacto:** Es un material liviano, lo que reduce los costos de transporte y manejo, además de facilitar su uso en una amplia variedad de aplicaciones. [45]
- b) **Seguro:** El PET es fuerte y resistente a impactos, lo que lo hace ideal para envases y embalajes que necesitan proteger su contenido de daños. [45]
- c) **Reciclable:** El PET es altamente reciclable. Las botellas de PET se pueden recolectar, procesar y convertir en nuevos productos de PET, ayudando a reducir el impacto ambiental. [45]

Desventajas del Plástico PET

- a) **Generador de basura:** Es cada vez más común observar grandes acumulaciones de basura, predominantemente compuestas por diferentes formas de PET.[45]
- b) **Contaminante de alimentos:** Debido a sus componentes derivados del petróleo, el PET puede ser perjudicial cuando entra en contacto con personas.[45]
- c) **Efecto ambiental:** El PET tarda 700 años en degradarse, lo que contribuye a la contaminación al generar gases de efecto invernadero y liberar diversos gases químicos que afectan la naturaleza.[45]

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo de investigación

La presente investigación se caracteriza por ser de tipo aplicada, ya que se emplearon las investigaciones previamente adquiridas para abordar un problema práctico. Se utilizaron conocimientos relacionados con la mezcla asfáltica, el PET reciclado, desempeño estructural y durabilidad. Asimismo, se tomaron en consideración los manuales proporcionados por el MTC EG-2013.

Nivel de investigación

La investigación presentada posee un nivel correlacional, relacionando la variable del PET con la mezcla asfáltica a partir del desempeño estructural y la durabilidad.

Diseño de investigación

La investigación nos presenta un diseño de tipo experimental, generando diversos casos de análisis para determinar cómo influye la incorporación del PET en las MAC. Asimismo, se compararon los parámetros de diseño de una MAC y una convencional.

Población, muestra y muestreo

Población

Está compuesta por el número de muestras utilizando una MAC convencional y una modificada con la incorporación del PET para los ensayos de laboratorio propuestos.

Muestra

En la presente investigación la muestra no se seleccionará de manera probabilística debido a que el objeto de estudio no existe. En su lugar, se basa en las dosificaciones y la interrelación de las variables que serán medidas mediante los diferentes ensayos de laboratorio.

Muestreo

La muestra utilizada abarcó a la población total y una técnica de muestreo no probabilístico por conveniencia con un total de 105 briquetas.

Tabla 20. Muestreo para el % óptimo de C.A

% CONTENIDO ÓPTIMO DE C. A					
TRÁFICO DE DISEÑO	PORCENTAJES				
	Muestras con Porcentajes de C. A				
	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%
MEDIANO	3	3	3	3	3
TOTAL	15				

Tabla 21. Muestreo para Ensayo de Marshall

ENSAYO DE MARSHALL					
PORCENTAJES					
Porcentajes de PET	Porcentajes de C. A				
	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%
1%	3	3	3	3	3
3%	3	3	3	3	3
5%	3	3	3	3	3
7%	3	3	3	3	3
TOTAL	60				

Tabla 22. Muestreo para Ensayos

ENSAYOS	PATRÓN	ÓPTIMO	TOTAL
ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO	6 Briquetas	6 Briquetas	12 Briquetas
ENSAYO DE MÓDULO DE RESILIENCIA	3 Briquetas	3 Briquetas	6 Briquetas
ENSAYO DE CÁNTABRO	6 Briquetas	6 Briquetas	12 Briquetas

Tabla 23. Tabla Resumen de Muestreo

TABLA RESUMEN		
ENSAYO	PARCIAL	TOTAL
CONTENIDO ÓPTIMO DE C.A	15 Briquetas	105 Briquetas
ENSAYO DE MARSHALL	60 Briquetas	
ENSAYO DE LOTTMAN	12 Briquetas	
ENSAYO DE MÓDULO DE RESILIENCIA	6 Briquetas	
ENSAYO DE CÁNTABRO	12 Briquetas	

Variables

Variable independiente

La incorporación el plástico reciclado PET.

Variable dependiente

El desempeño estructural y la durabilidad de una MAC.

Variable interviniente

- ✓ Tipo de Cemento Asfáltico: 60/70
- ✓ Tamaño Máximo del Agregado Grueso: 1/2"
- ✓ Tamaño de escamas de PET: 3/8 "(9.5 mm)
- ✓ Tráfico de Diseño: Mediano

Operacionalización de variables

Tabla 24. Operacionalización de Variables

VARIABLE	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	RANGO DE VARIABILIDAD	MÉTODO DE VARIACIÓN
VARIABLE INDEPENDIENTE Incorporación del plástico reciclado PET	Proporción de plástico reciclado PET	%	1%, 3%, 5% y 7%	Balanza

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO DE MEDICIÓN
VARIABLE DEPENDIENTE Desempeño Estructural y Durabilidad de una MAC	Desempeño Estructural	Estabilidad	Lbs	Ensayo de Marshall MTC E 504/ASTDM D 1559
		Fluencia	Mm	
		Estabilidad/Fluencia	Kg/cm	
	Resistencia a la Humedad Inducida	%	Ensayo de Lottman Modificado MTC E 522/AASTHO T283	
	Durabilidad	Resiliencia por Tracción Indirecta	Mpa	Ensayo de Módulo Resiliente AASTHO D 4123
		Pérdida de Desgaste	%	Ensayo de Cántabro MTC E 515

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas

Observación directa

Las dimensiones de las variables tanto independiente como dependiente tales como la incorporación del PET y MAC modificada respectivamente, fueron medidas utilizando métodos de medición directa mediante pruebas de laboratorio sin modificar las características de las subvariables de estudio.

Fichas técnicas

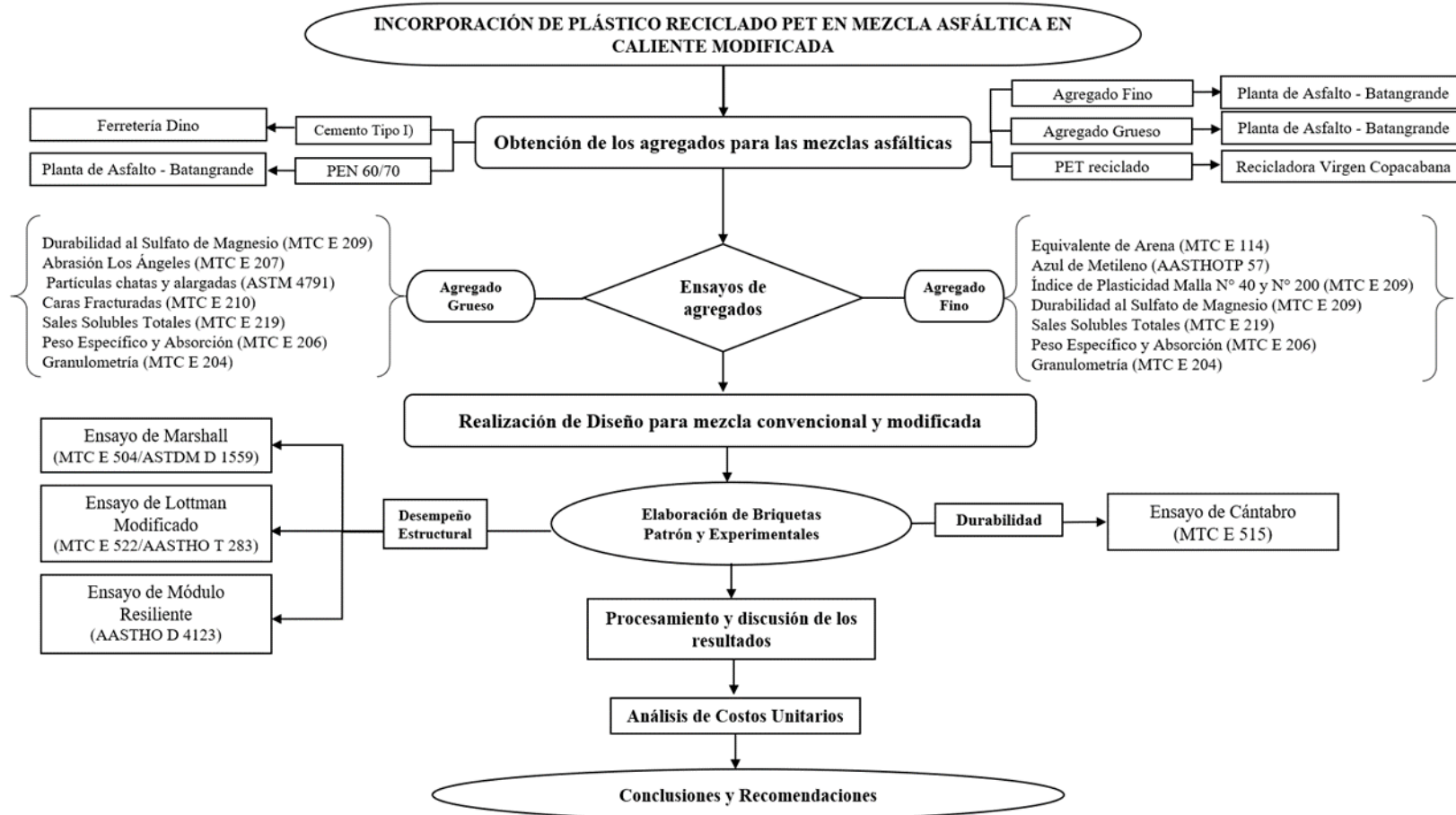
Se utilizaron fichas técnicas para registrar el contenido asfáltico, nivel gradación, cantidad de proporción y de trituración; además recopiló datos importantes sobre la estabilidad, flujo, rigidez, resistencia a la humedad inducida, resiliencia por tracción indirecta y pérdida de desgaste.

Instrumentos

Los instrumentos empleados en la investigación consistieron principalmente en aquellos requerimientos estandarizados por el MTC, ASTM y AASHTO para realizar los ensayos de laboratorio establecidos.

Estrategia de análisis de datos

Tabla 25. Diagrama de Flujo



Procedimiento

Proceso de Obtención de Materiales

a) **Cemento Asfáltico y Agregados Pétreos**

El cemento asfáltico PEN 60/70 y los agregados pétreos utilizados para realizar los ensayos de laboratorio serán adquiridos de la Planta de Asfalto del Gobierno Regional de Lambayeque.

Ilustración 1. Visita Planta de Asfalto del Gobierno Regional de Lambayeque



b) **Filler o Relleno Mineral**

El Filler empleado fue Cemento Portland Tipo I adquirido en una tienda comercial.

c) **Tereftalato de polietileno (PET)**

Las partículas de PET se adquirieron a través de la recolección de botellas de plástico, las cuales fueron sometidas a un proceso de trituración a través de una malla interna de picado.

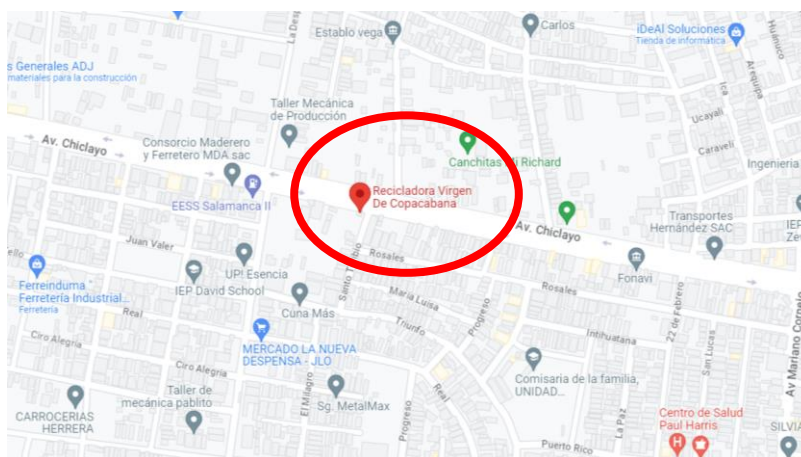


Ilustración 2. Ubicación de la Recicladora Virgen de Copacabana

Ilustración 3. Proceso de Recolección del material



Proceso de trituración del PET



Recolección de material en sacos



Selección de material a utilizar

Ensayos de caracterización de los agregados

Los agregados deberán cumplir con los requisitos señalados en el MTC EG-2013[18]

Método de ensayo para contenido de humedad total de los agregados por secado

Para este ensayo se consideró una muestra 2000 gr fino y 3000 gr grueso. Se llevan al horno durante un período de 24h para, posteriormente, determinar la masa final en gramos una vez que esté completamente seca pesarla.

Ilustración 4. Contenido de humedad total de los agregados por secado



Muestras en el horno



Muestra seca de agregado fino



Muestra seca de agregado grueso

Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos

Para este ensayo se realizó una granulometría global con una muestra de 6000 gr de agregado entre fino y grueso. Consiste en seleccionar los tamices normalizados según las especificaciones y encajarlos adecuadamente en orden descendiente colocando la muestra en el tamiz superior, realizando el tamizado de manera manual.

Ilustración 5. Análisis Granulométrico de agregados



Selección del material mediante el cuarteo



Tamices seleccionados de acuerdo a especificaciones



Tamizado manual de los agregados

Durabilidad al sulfato de sulfato de magnesio

Para este ensayo se considera una muestra de 100 gr de agregado fino y grueso retenido en los tamices normalizados según las especificaciones. Consiste en la inmersión de las muestras en la solución de sulfato de magnesio durante aprox. 16h y tapanlas para evitar el contacto con otras sustancias. Posteriormente se escurren y llevar al horno durante 24h repitiendo el mismo proceso durante cinco ciclos. Finalmente, se lavan los agregados para quitar cualquier residuo de sales, se tamizará según la muestra y se pesará para determinar su % de desgaste.

Ilustración 6. Durabilidad al sulfato de magnesio



Preparación de la solución saturada de sulfato de magnesio



Preparación de la muestra



Inmersión de las muestras



Inmersión durante 16h aprox.



Lavado de las muestras



Peso de las muestras al final del ensayo

Sales Solubles en agregados para pavimentos flexibles

Para este ensayo se considera una muestra de 500 gr de agregado fino y grueso. Consiste en colocar las muestras en recipientes que las cubran totalmente con agua destilada y agitarlos aprox.10 min. Luego, se toma una porción de la totalidad del agua de lavado y se realiza un proceso de cristalización para calcular la cantidad de sales presentes en la muestra. Posteriormente, calentar las muestras hasta su ebullición y decantar en un vaso de precipitación. Finalmente llevarlos al horno durante 24h y calcular el % de sales solubles.

Ilustración 7. Sales solubles totales en agregados



Muestra de agregado grueso



Ebullición de las muestras



Peso final de la muestra

Peso específico y absorción de agregados gruesos

Para este ensayo se consideró una muestra de 4000 gr. El peso específico saturado con superficie seca y la absorción se basa en sumergir los agregados en agua después de 24h. Posteriormente, se remueve el agua de la muestra hasta estar superficialmente seca,

después se sumerge en la canastilla y se pesa, por último, llevar nuevamente la muestra al horno.

Ilustración 8. Peso y absorción de agregados gruesos



Lavado de la muestra



Muestra superficialmente seca



Muestra sumergida en la canastilla de alambre

Abrasión Los Ángeles al Desgaste de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm

Para este ensayo se considera una muestra de 5000 gr, considerando una gradación tipo B para cual trabajamos con 2500 gr de cada tamiz normalizado según las especificaciones y con 11 esferas. Colocándola con la carga en la máquina de los ángeles rotándola a una velocidad de 30 rpm a 33 rpm, por 500 revoluciones, luego descargar el material y tamizar por la malla n°10. Finalmente se pesa el material libre de revestimiento.

Ilustración 9. Abrasión Los Ángeles al Desgaste



Máquina de los ángeles



Material descargado de la máquina



Material libre revestimiento

Método de Ensayo Estándar para la determinación del porcentaje de Partículas Fracturadas en el Agregado Grueso

Para este ensayo lavar la muestra y llevarla al horno durante 24h, posteriormente extender la muestra seca para realizar una inspección adecuada y correcta permitiendo la

verificación del criterio de fracturada, el cual consiste en considerar como una cara fracturada si es al menos un cuarto de la máxima sección transversal.

Ilustración 10. Partículas Fracturadas



Cuarteo de la muestra



Muestra en el horno



Verificación de la muestra

Partículas chatas y alargadas en agregados para pavimentos flexibles

Para este ensayo considera una muestra cuarteada y posteriormente tamizada según las especificaciones, posteriormente se ensaya cada partícula y clasifica en tres grupos: chatas, alargadas y ni chatas ni alargadas de acuerdo al criterio. Finalmente determinar la proporción por grupo por conteo.

Ilustración 11. Partículas chatas y alargadas



Tamizado de la muestra



Selección de la muestra



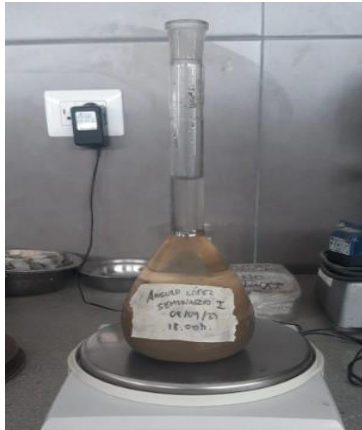
Clasificación de la muestra

Gravedad específica y absorción de agregados finos

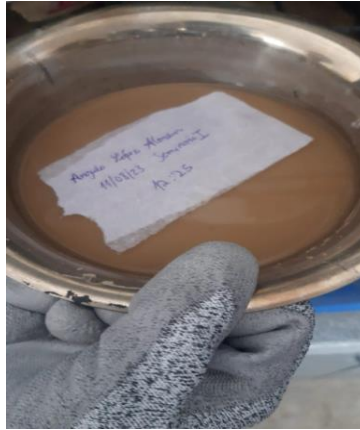
Para este ensayo se considera una muestra de 500 gr. Posteriormente introducirla en una fiola y llenarla con 500 cm³. Agitar el frasco para eliminar las burbujas de aire aprox. 20

min y dejarla reposar 24h. Finalmente remover el agregado, decantar el agua evitando pérdida de la muestra, llevarla al horno, enfriar y determinar su peso.

Ilustración 12. Gravedad específica y absorción de agregados finos



Muestra en la fiola



Muestra decantada



Muestra en el horno

Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena y agregado fino

Para este ensayo se considera una muestra tamizada por la malla n°4, consolidándola con la solución stock, en una probeta graduada y agitándola durante 1 min. Posteriormente repetir el mismo proceso dos veces en diferentes probetas y registrar la cantidad de material con 25 golpes al ras para calcular el promedio final durante diferentes intervalos de tiempo.

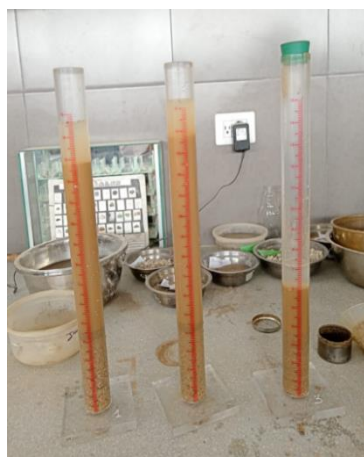
Ilustración 13. Equivalente de arena



Preparación del stock de solución



Material consolidado



Registro de la cantidad de material

Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.)

Para este ensayo se considera una muestra de 140 gr de agregado fino tamizada por la malla n°40 y la N°200. Posteriormente se coloca el material en un recipiente de plástico agregando agua destilada hasta mezclar completamente la muestra. Colocar la muestra en

la cuchara de Casagrande, esparcirla de manera uniforme, con ayuda del acalanador dividir la muestra haciendo una ranura y registrar las cantidades de golpes ejecutados para cerrar la ranura. Finalmente tomar partes de las muestras, colocarlas en las taras previamente pesadas y calcular el contenido de humedad de cada muestra.

Ilustración 14. Límites de plasticidad



Preparación de la muestra



Muestra contenida en la Copa Casagrande



Ejecución de los golpes

Ensayo de Azul de metileno

Para este ensayo se considera una muestra de 5 gr de agregado fino tamizado por la malla N°200. Posteriormente se coloca el material en un vaso de precipitación con la solución de azul de metileno en agua destilada donde se tintura la suspensión de finos en alícuotas de 1ml sin detener la agitación hasta formar un halo de color azul de cian. Finalmente se esparce sobre el papel filtro para observar la acción de la gota.

Ilustración 15. Azul de metileno



Preparación de la muestra



Solución de Azul de Metileno



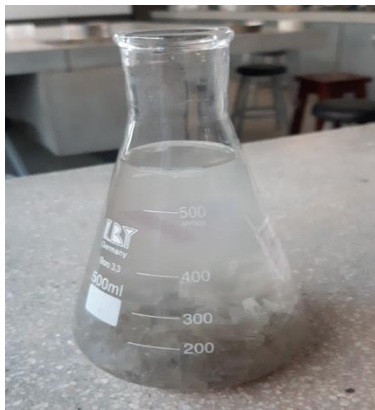
Formación del halo color cian

Ensayos de caracterización del plástico reciclado PET

Ensayo de Peso Específico y Absorción

Para este ensayo se considera una muestra de 500 gr de PET previamente seleccionado. Posteriormente introducirla en un matraz y llenarla parcialmente con 500 cm³. Agitar el frasco para eliminar las burbujas de aire durante aprox. 20 min y dejarla reposar 24 h. Finalmente remover el PET, decantar el agua evitando pérdida de la muestra, llevarla al horno, enfriar y determinar su peso.

Ilustración 16. Peso específico y Absorción del PET



Muestra en el matraz



Muestra en el horno



Peso final de la muestra

Densidad del plástico reciclado PET

Para este ensayo se considera una muestra de plástico reciclado Pet previamente seleccionado. Posteriormente obtener el volumen de un molde Proctor y colocar el material hasta llenarlo. Finalmente calcular el peso total.

Ilustración 17. Densidad del PET



Selección del plástico reciclado PET



Material contenido en el molde Proctor



Peso del molde con el material contenido

Granulometría del plástico reciclado PET

Para este ensayo se consideró una muestra de 500 gr de plástico reciclado. Consiste en seleccionar los tamices normalizados según las especificaciones y encajarlos

adecuadamente en orden descendiente colocando la muestra en el tamiz superior. Finalmente se realiza el tamizado de manera manual.

Ilustración 18. Granulometría del PET



Preparación de la muestra



Tamices seleccionados de acuerdo a especificaciones



Tamizado manual de PET

Ensayos para evaluar el comportamiento de la MAC

Ensayo de Marshall

Este método busca determinar el contenido óptimo de asfalto en una cantidad de agregados. Elaboramos la mezcla asfáltica siguiendo las especificaciones del TMN, utilizando una gradación MAC-2. Las briquetas se realizan con diferentes proporciones de cemento asfáltico para obtener resultados representativos y encontrar el valor ideal. Se preparan con incrementos de 0.5% de asfalto, asegurando un peso total de 1200 gr de materiales en cada una. Se fabricarán tres para cada % C.A, el proceso incluye calentar los agregados, verter el cemento asfáltico caliente y mezclar para obtener una consistencia homogénea. Se calientan simultáneamente el molde, collar y placa de base a 150 °C.

Ilustración 19. Pesaje y añadido de agregados y cemento asfáltico.



Preparación de muestras



Peso de las muestras



Muestra llevada al horno

Antes de compactar, se ensambla el molde y se recubre con varsol, colocando papel filtro en el fondo. Compactamos dando 50 golpes por ambas caras con ayuda del compactador manual, se enfría el molde durante 24 horas a temperatura ambiente.

Ilustración 20. Mezcla de agregados y compactación de especímenes



Preparación de mezcla



Mezcla de agregados y cemento asfáltico



Compactación manual

Retiramos la briqueta para proceder con su extracción utilizando el eyector de muestras, finalmente realizamos lo mismo para todas.

Ilustración 21. Extracción de especímenes



Eyector de muestras



Desencofrado de muestras



Muestras desencofradas

Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall para muestras

Después de determinar la densidad de las briquetas, se realiza el ensayo de estabilidad y flujo Marshall. Esto implica someterlas a baño maría a una temperatura de aproximadamente 60°C durante intervalos de 30 a 40 min. Posteriormente, se lleva a cabo el ensayo de las briquetas utilizando el equipo Marshall, aplicando una carga con una tasa de deformación constante de 50 mm por minuto. La carga máxima que soporta la briqueta antes de romperse se conoce como estabilidad, mientras que la deformación que experimenta se denomina flujo.

Ilustración 22. Densidad de las muestras



Pesaje de muestras



Medición de las muestras



Peso sumergido de las muestras

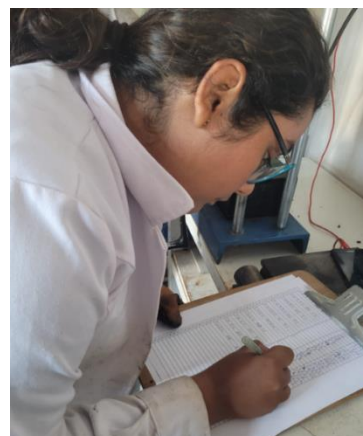
Ilustración 23. Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall para muestras



Equipo Marshall



Ejecución del ensayo



Registro de datos

Finalmente, luego de realizar el ensayo de Marshall se procede a reservar 1,500 gr de una muestra por cada % C.A para hallar la gravedad específica máxima de estas mediante el ensayo de Rice. Se llena el frasco a la mitad de su capacidad, se pesa y luego se añade la muestra. Posteriormente se procede a el vacío parcial del aire a una presión de 30 mm de Hg. durante 15 min. Finalmente se pesa el frasco con el agua y la muestra final.

Ilustración 24. Ensayo de Gravedad Específica



Peso del recipiente



Peso de la muestra



Vacío parcial del aire

Ensayo de Lottman Modificado

Para este ensayo elaboran tres muestras secas y tres muestras húmedas luego de haber sido sometidas a una temperatura de -16°C , además de determinar la resistencia al daño causado por la humedad la densidad de las briquetas.

Ilustración 25. Preparación de las muestras



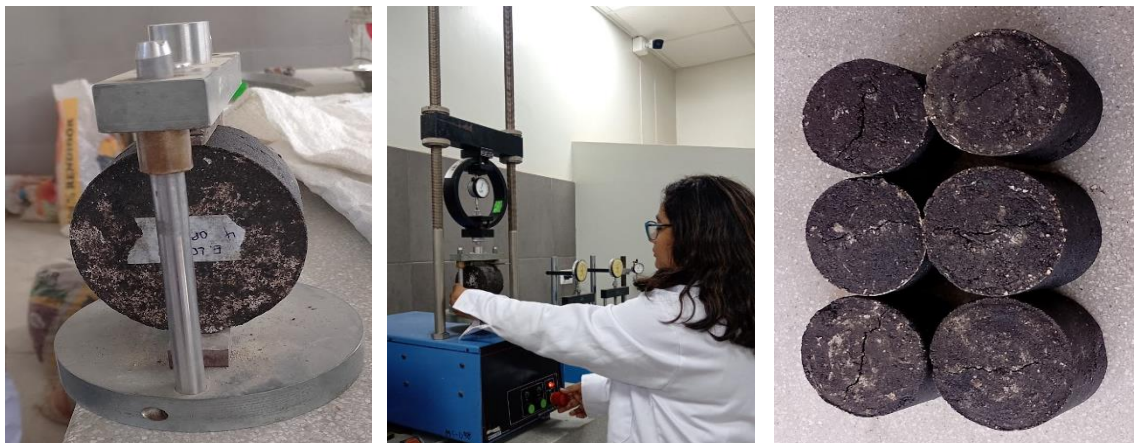
Muestras sometidas a la humedad

Muestras a -16°C

Muestras a baño María a 60°C

Posteriormente las muestras son sometidas a baño maría a una temperatura de aproximadamente 60°C durante intervalos de 30 a 40 min. Finalmente, se emplea una carga de compresión en los ejes diametrales de las muestras de prueba.

Ilustración 26. Ensayo de Lottman Modificado



Muestras por ensayar

Ejecución del ensayo

Muestras ensayadas

Ensayo del Módulo Resiliente

Para este ensayo elaboraron tres muestras de MAC convencional y MAC modificada cada una sometidas a una temperatura de 5°C , 25°C y 40°C respectivamente, para evaluar el desempeño resiliente de la mezcla mediante la relación entre la tensión de tracción constante en el plano vertical y la deformación recuperable correspondiente a una temperatura específica.

Ilustración 27. Ensayo de Módulo Resiliente por tracción indirecta



Ejecución del ensayo



Deformaciones de las muestras



Muestras ensayadas

Durante el ensayo, se aplican cargas de compresión verticalmente en un plano diametral de una muestra de concreto asfáltico. Se registra la deformación horizontal total y se calcula el módulo resiliente (MR). Este cálculo se basa en las deformaciones verticales y horizontales recuperables medidas durante el ensayo, lo que permite determinar la relación de Poisson resiliente.

Ensayo de Cántabro

Luego de la elaboración de las briquetas, se determinó la masa de las muestras, previamente antes de someterlas a pruebas se conservaron a una temperatura mínima de ensayo. Posteriormente se colocó una probeta con la misma proporción de C.A con y sin partículas PET dentro de la máquina de los Ángeles, a 30 rpm 300 revoluciones. Además, es importante destacar que no se incluyó la carga abrasiva de las bolas en este proceso. Luego de completar el ciclo de rotación de la probeta en el tambor se registró el peso final. Este proceso se repite para cada % C.A y cada briqueta preparada. Finalmente se realizan a los cálculos para hallar el % de desgaste.

Ilustración 28. Ensayo de Cántabro



Ejecución del ensayo



Fin del ensayo



Muestras ensayadas

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados

Control de calidad de los componentes de la mezcla

Control de calidad del agregado grueso

Tabla 26. Resultados del Control de calidad del agregado grueso

Ensayos	Norma	Requerimiento Altitud (msnm) > 3.000	Resultados Obtenidos
Durabilidad (Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	15% máx.	12.2%
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	35% máx.	12.6%
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	8.5%
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	89/76
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0%
Absorción	MTC E 206	1.0% máx.	0.4%

Los resultados de los ensayos de laboratorio para evaluar la calidad de los agregados gruesos cumplen de manera satisfactoria con los estándares de calidad establecidos para el agregado grueso en la tabla N°423 - 01 del MTC (EG-2013).

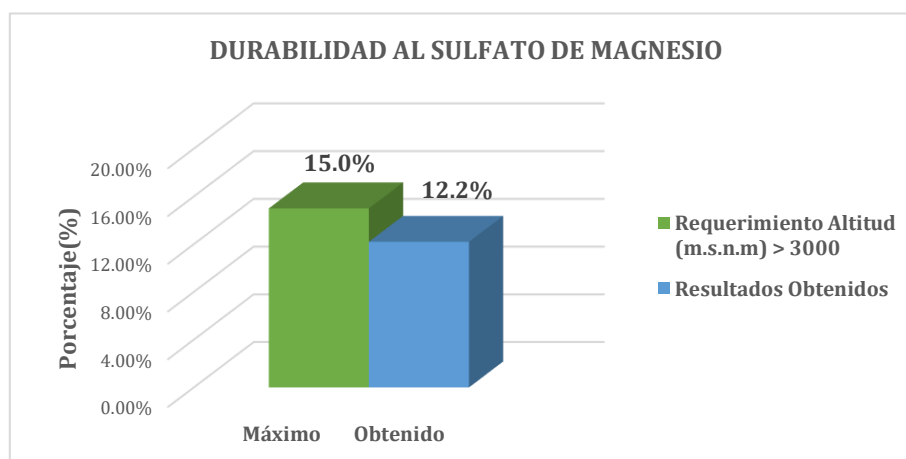
Resultados y análisis de ensayos para control de calidad de agregados gruesos

Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio

Tabla 27. Resultados del Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado grueso

Tamaño de los Tamices		Gradación Original (peso)	Gradación de las Muestras Originales (%)	Peso de las Fracciones comprendido antes del ensayo (g)	N° de partículas	Peso Ret. Después del ensayo (g)	Pérdida Total (%)	Pérdida Corregida (%)
Pasa	Retiene							
3/4"	1/2"	670	51.5	670	23	578.08	13.7	7.1
1/2"	3/8"	330	25.4	330	23	289.83	12.2	3.1
3/8"	N° 4	300	23.1	300	23	273.07	9.0	2.1
Totales		1300	100.0	700		1140.98		12.2

Ilustración 29. Resultados del ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado grueso



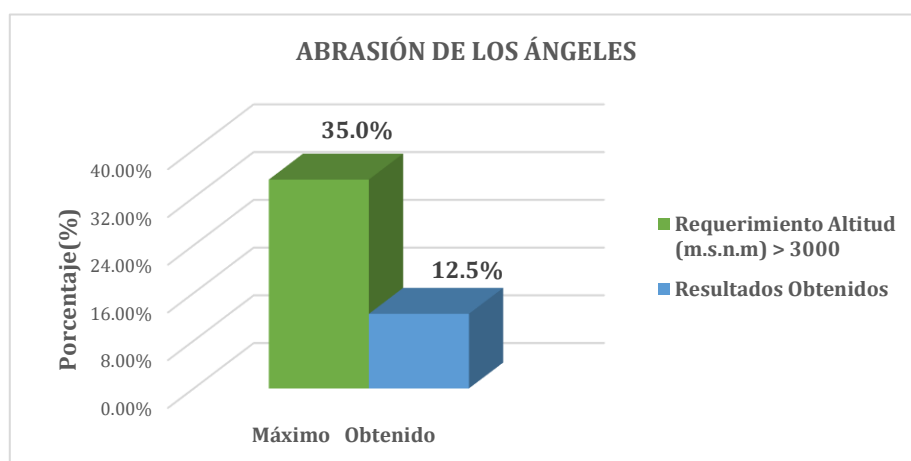
El resultado del ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado grueso es de 12.2%.

Ensayo de Abrasión de los Ángeles

Tabla 28. Resultados del Ensayo de Abrasión de los Ángeles

Peso inicial antes del ensayo	5000.0
Peso final después de las 200 revoluciones	4895.0
Peso final después de las 500 revoluciones	4376.0
% de desgaste por abrasión	12.5
% de uniformidad	0.2

Ilustración 30. Resultados del Ensayo de Abrasión de los Ángeles



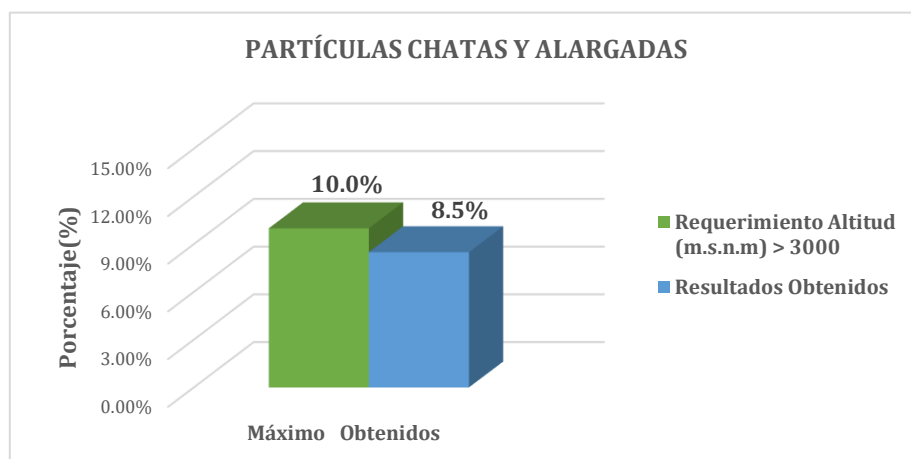
El resultado del ensayo de Abrasión los Ángeles del agregado grueso es de 12.5%.

Ensayo de Determinación de Partículas Chatas y Alargadas

Tabla 29. Resultados del Ensayo de Determinación de partículas chatas y alargadas

TAMIZ		AGREGADO GRUESO			CHATAS			ALARGADAS		
Pulg.	Mm.	PESO RET.	% RET.	% PASA	PESO RET.	% RET.	% PASA	PESO RET.	% RET.	% PASA
2 1/2"	63.00	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2"	50.00	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1 1/2"	37.50	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1"	25.00	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3/4"	19.00	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1/2"	12.50	1015.5	40.6	59.4	48.66	4.8 %	2.1 %	48.86	4.8 %	2.1 %
3/8"	9.50	934.3	37.4	22.0	26.07	2.8 %	1.1 %	42.78	4.6 %	1.8 %
1/4"	6.30	417.0	16.7	5.3	8.08	1.9 %	0.3 %	26.31	6.3 %	1.1 %
Menor 1/4"		---	5.3	1.2	---	---	---	---	---	---
TOTAL		2366.8 g.	100%	0.0	82.8 g.	9.5%	3.5%	118.0 g.	15.7%	5.0%
PATÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS								8.5%		

Ilustración 31. Resultados del Ensayo de Determinación de partículas chatas y alargadas



El resultado del Ensayo de Determinación de partículas chatas y alargadas del agregado grueso es de 8.5%.

Ensayo de Determinación del porcentaje de caras fracturadas

Tabla 30. Resultados del Ensayo de Determinación de partículas con una cara fracturada

		A. Partículas con una cara fracturada				
Tamaño del agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retenido en Tamiz	(g)	(g)	$((B/A) * 100)$	% Retenido	C*D
2"	1 1/2"	---	---	---	---	---
1 1/2"	1"	---	---	---	---	---
1"	3/4"	---	---	---	---	---
3/4"	1/2"	1200	---	---	---	---
1/2"	3/8"	300	1050	87.5%	24.0%	21.0%
TOTAL		1500	277	92.3%	6.0%	26.5%
UNA CARA FRACTURADA (%)					88.5%	

Ilustración 32. Resultados del Ensayo de Determinación de partículas con una cara fracturada

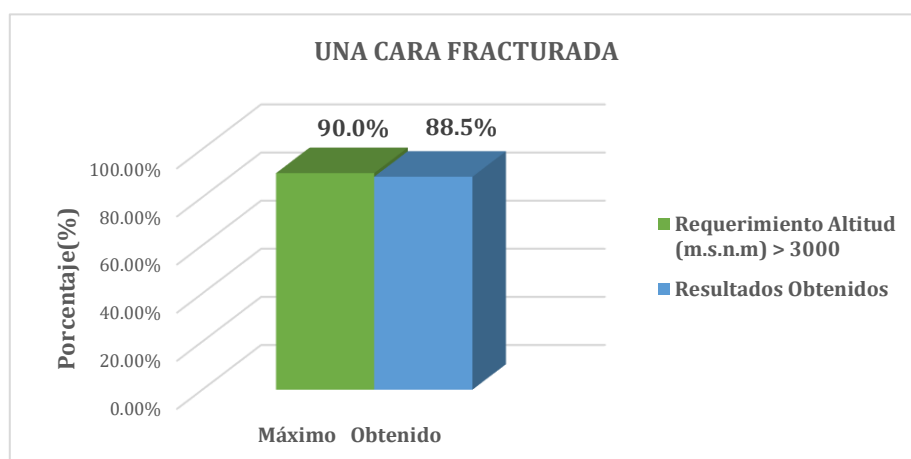
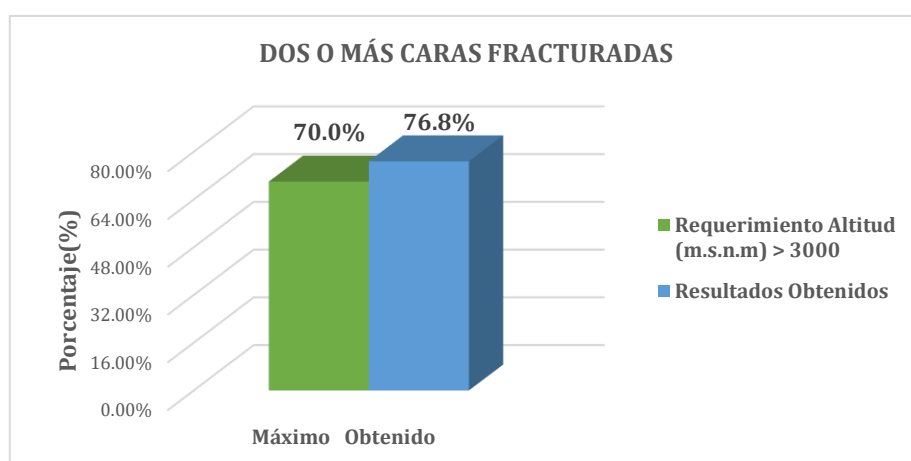


Tabla 31. Resultados del Ensayo de Determinación de partículas con dos a más caras fracturadas

		A. Partículas con dos o más caras fracturadas				
Tamaño del agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retenido en Tamiz	(g)	(g)	((B/A) *100)	% Retenido	C*D
2"	1 1/2"	---	---	---	---	---
1 1/2"	1"	---	---	---	---	---
1"	3/4"	---	---	---	---	---
3/4"	1/2"	1200	894	74.50	24.0	17.88%
1/2"	3/8"	300	258.3	86.10	6.0	516.6%
TOTAL		1500	1152.3		30.0	23.0%
DOS A MÁS CARAS FRACTURADAS (%)					76.8%	

Ilustración 33. Resultados del Ensayo de Determinación de partículas con dos a más caras fracturadas



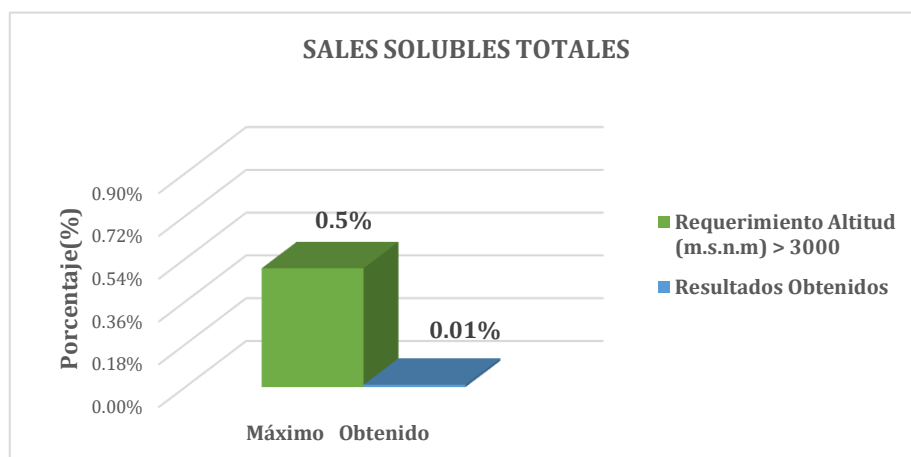
El resultado del Ensayo de Determinación del porcentaje de caras fracturadas del agregado grueso para una cara fracturada es del 88.5%, y para dos a más caras fracturadas es de 76.8%.

Ensayo de Sales Solubles en Agregados para pavimentos flexibles

Tabla 32. Resultados del Ensayo de Sales solubles en agregados gruesos

RELACIÓN DE LA MEZCLA SUELO - AGUA DESTILADA	5.00
NÚMERO DE BEAKER	1
PESO DE BEAKER	g. 31.72
PESO DE BEAKER + RESIDUO DE SALES	g. 31.74
PESO DE RESIDUO DE SALES	g. 0.02
VOLUMEN DE LA SOLUCIÓN TOMADA	ml 350
CONSTITUYENTES DE SALES SOLUBLES TOTALES	ppm 57
CONSTITUYENTES DE SALES SOLUBLES TOTALES EN PESO SECO	(%) 0.01

Ilustración 34. Resultados del Ensayo de Sales solubles en agregados gruesos



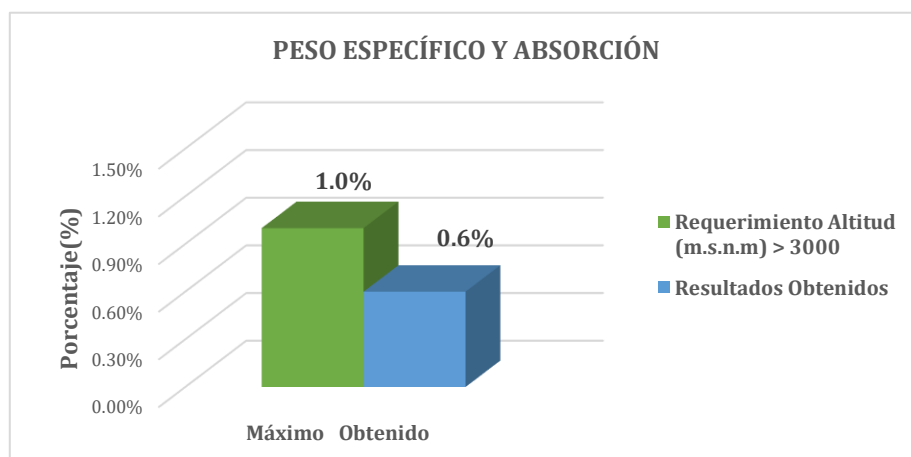
El resultado del ensayo de Ensayo de Sales solubles del agregado grueso es de 0.01%

Ensayo de Peso Específico y Absorción

Tabla 33. Resultados del Ensayo de Peso Específico y Absorción en agregados gruesos

PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.616
PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.631
PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.657
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.60

Ilustración 35. Resultados del Ensayo de Peso Específico y Absorción en agregados gruesos



El resultado del ensayo de ensayo de peso específico, absorción del agregado grueso es de 2.657 g/cm³ y 0.6% respectivamente.

Ensayo de Contenido de humedad

Tabla 34. Resultado del Ensayo de Contenido de humedad en agregados gruesos

PESO DE MUESTRA HÚMEDA	(gr.)	3000.00
PESO DE MUESTRA SECA	(gr.)	3275.80
PESO DE RECIPIENTE	(gr.)	280.00
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	0.14

El resultado del ensayo de contenido de humedad del agregado grueso es de 0.14%.

Control de calidad del agregado fino

Tabla de resultados

Tabla 35. Resultados del Control de calidad del agregado fino

Ensayos	Norma	Requerimiento	Resultados Obtenidos
		Altitud (msnm) ≤ 3.000	
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	65
Azul de metileno	AASHTO TIP 57	8 máx	1.2
Índice de Plasticidad (malla 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15%
Índice de Plasticidad (malla 200)	MTC E 111	4 máx.	2.35
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.004%
Absorción	MTC E 205	0.5% máx.	0.4%

Los resultados de los ensayos de laboratorio para evaluar la calidad de los agregados finos cumplen de manera satisfactoria con los estándares de calidad establecidos en el MTC (EG-2013).

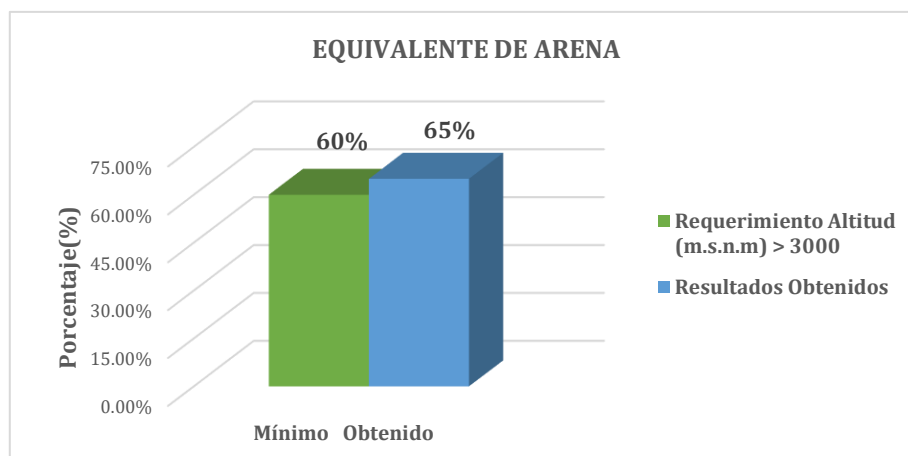
Resultados y análisis de ensayos para control de calidad de agregados fino

Ensayo de Equivalente de Arena

Tabla 36. Resultados del Ensayo de Equivalente de arena

MUESTRA N°	1	2	3
TAMAÑO MAXIMA (mm.)	N° 4	N° 4	N° 4
ALTURA MAXIMA DEL MATERIAL FINO (cm.)	6.60	6.80	6.50
ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm.)	4.40	4.20	4.30
EQUIVALENTE DE ARENA	66.67 %	61.76 %	66.15 %
EQUIVALENTE DE ARENA (EA)	65%		

Ilustración 36. Resultados del Ensayo de Equivalente de arena



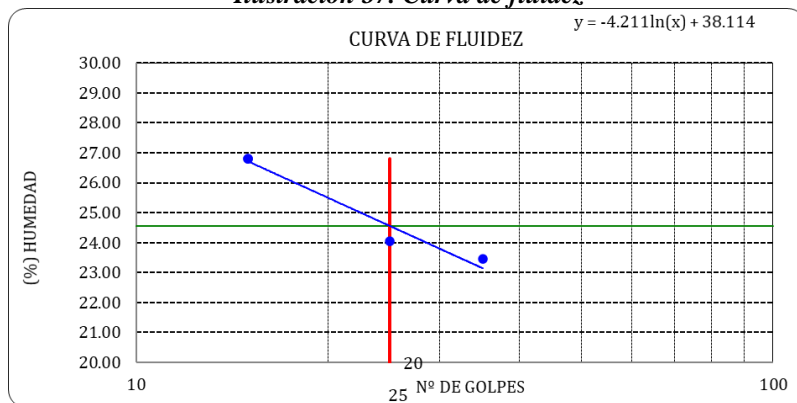
El resultado del ensayo de equivalente de arena del agregado fino es de 65%.

Ensayos de Límites de Consistencia

Tabla 37. Resultados de los Ensayos de Límites de consistencia

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA			
TAMIZ	LL	LP	IP
40	18.00	18.00	NP
200	24.56	22.20	2.35

Ilustración 37. Curva de fluidez



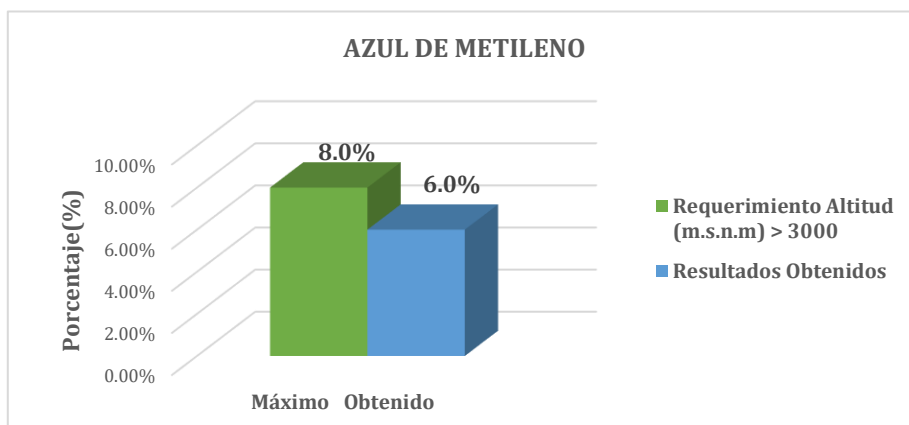
El resultado de los ensayos de límites de consistencia del agregado fino es de NO PLÁSTICO y 2.35 respectivamente.

Ensayo de Azul de Metileno

Tabla 38. Resultados del Ensayo de Azul de Metileno

ENSAYO	UND	DATOS
Peso material preparado pasante malla #200	gr.	50
Peso material seco utilizado en la prueba	gr.	5
Agua destilada añadida	ml	250
Solución inicial de Azul de Metileno en el Ensayo	ml	0.5
Solución final de Azul de Metileno en el Ensayo	ml	6
Concentración Azul Metileno gr/ml de solución	%	8
VALOR AZUL DE METILENO	mg/g	1.2

Ilustración 38. Resultados del Ensayo de azul de metileno



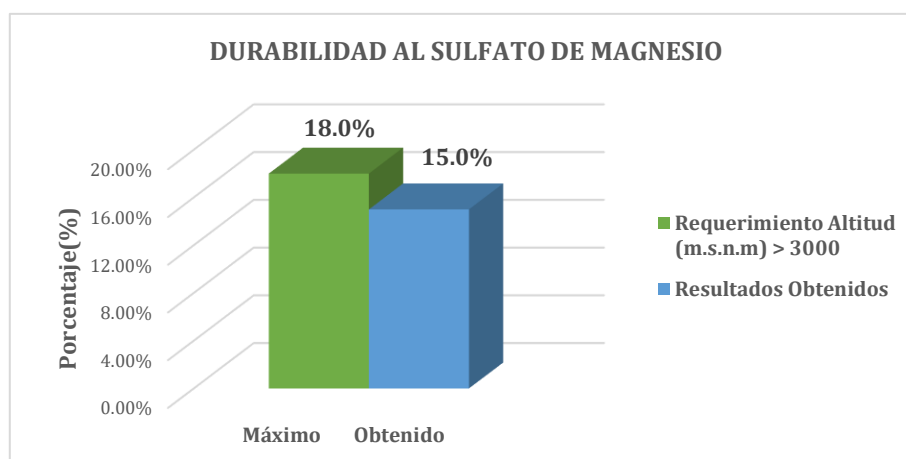
El resultado del ensayo de azul de metileno del agregado fino es de 6%.

Ensayos de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado fino

Tabla 39. Resultados del Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado fino

Tamaño de los Tamices		Gradación Original (peso)	Gradación de las Muestras Originales (%)	Peso de las Fracciones comprendido antes del ensayo (g)	Peso Ret. Después del ensayo (g)	Pérdida Total (%)	Pérdida Corregida (%)
Pasa	Retiene						
3/8"	Nº 4	100	14.3	100	86.79	13.2	1.9
9.5 mm	4.75 mm						
Nº 4	Nº 8	100	14.3	100	83.45	16.6	2.4
4.75 mm	2.36 mm						
Nº 8	Nº 16	100	14.3	100	84.67	15.3	2.2
2.36 mm	1.18 mm						
Nº 16	Nº 30	100	14.3	100	83.79	16.2	2.3
1.18 mm	600 µm						
Nº 30	Nº 50	100	14.3	100	86.4	13.6	1.9
600 µm	300 µm						
Nº 50	Nº 100	100	14.3	100	86.52	13.5	1.9
300 µm	150 µm						
Nº 100		100	14.3	100	83.3	16.7	2.4
150 µm							
Totales		700	100.0	700	594.92		15.0

Ilustración 39. Resultados del Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado fino



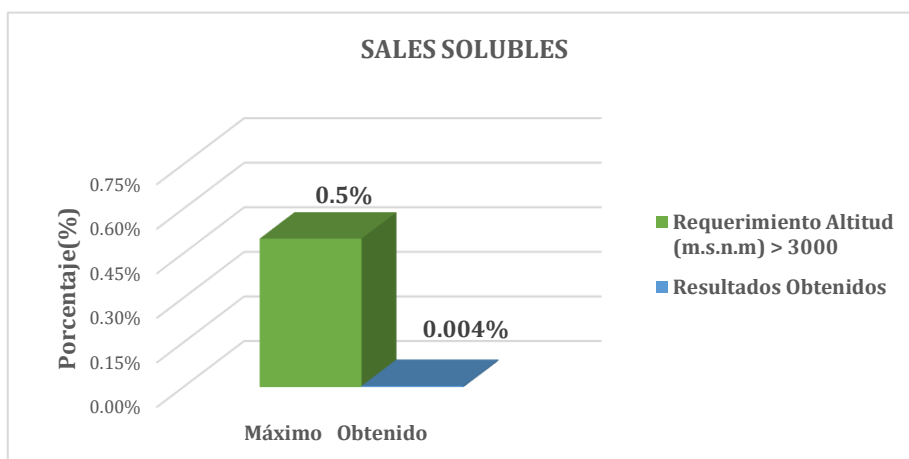
El resultado del ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio del agregado fino es de 15%.

Ensayo de Sales Solubles en Agregados para pavimentos flexibles

Tabla 40. Resultado del Ensayo de Sales solubles en agregados finos

RELACIÓN DE LA MEZCLA SUELO - AGUA DESTILADA		5.00
NÚMERO DE BEAKER		2
PESO DE BEAKER	g.	49.40
PESO DE BEAKER + RESIDUO DE SALES	g.	49.41
PESO DE RESIDUO DE SALES	g.	0.01
VOLUMEN DE LA SOLUCIÓN TOMADA	ml	250
CONSTITUYENTES DE SALES SOLUBLES TOTALES	ppm	40
CONSTITUYENTES DE SALES SOLUBLES TOTALES EN PESO SECO	(%)	0.004

Ilustración 40. Resultado del Ensayo de Sales solubles en agregados finos



El resultado del ensayo de sales solubles del agregado fino es de 0.004%.

Ensayo de Gravedad Específica y Absorción

Tabla 41. Resultado del Ensayo de Peso Específico y Absorción en agregados finos

PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.665
PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.673
PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.687
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.30

Ilustración 41. Resultado del Ensayo de Peso Específico y Absorción en agregados finos

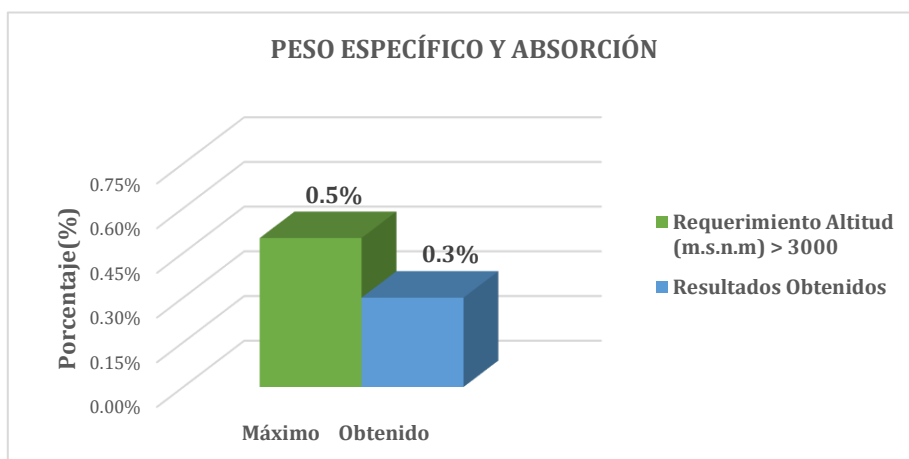


Tabla 42. Resultados del Ensayo de Gravedad Específica

PESO DE LA FIOLA	g.	201.38
PESO DE LA MUESTRA DE SUELO - SECO	g.	500.0
PESO DE LA MUESTRA DE SUELO SECO + PESO DE LA FIOLA	g.	701.4
PESO DE LA MUESTRA + FIOLA + AGUA	g.	1019.2
PESO DE LA FIOLA + PESO DE AGUA	g.	980.3
PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE SÓLIDOS (GS)	g/cm ³	1.084

El resultado del ensayo de peso específico, absorción y gravedad específica del agregado fino es de 2.687 g/cm³ ,0.3% y 1.084 g/cm³ respectivamente.

Ensayo de Contenido de humedad

Tabla 43. Resultados del ensayo de Contenido de humedad en agregados finos

PESO DE MUESTRA HUMEDAD	(gr.)	2000.00
PESO DE MUESTRA SECA	(gr.)	2267.60
PESO DE RECIPIENTE	(gr.)	280.00
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	0.62

El resultado del Contenido de humedad del agregado fino es de 0.62%

Control de calidad del plástico reciclado PET

Ensayo de Peso Específico y Absorción

Tabla 44. Resultado ensayo de Peso Específico y Absorción del PET

PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	1.134
PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	1.135
PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	1.135
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.02

El resultado del ensayo de peso específico y absorción del plástico reciclado PET es de 1.135 g/cm³ y 0.02% respectivamente

Densidad

Tabla 45. Resultado de la Densidad del PET

DATOS	UNIDAD	1	2	3	4
Volumen del molde	cm ³	133.80	133.80	133.80	133.80
Peso del molde	gr.	5189	5189	5189	5189
Peso del molde + PET	gr.	5384	5394	5391	5397
Peso del PET	gr.	195	205	202	208
Densidad	gr/cm ³	1.457	1.532	1.510	1.555
PROMEDIO		1.513			

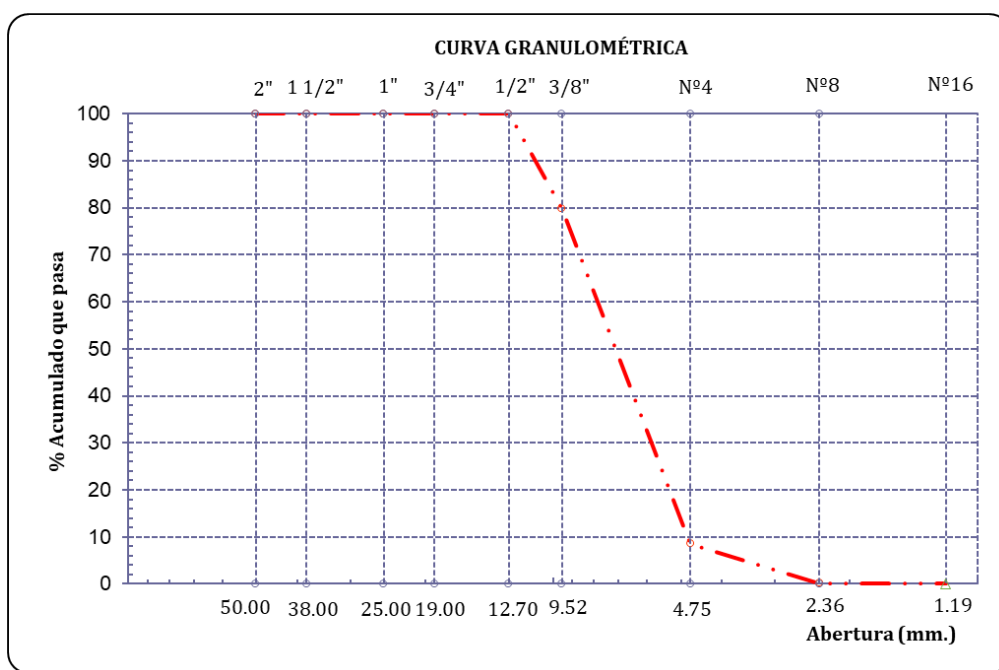
El resultado del ensayo de Densidad del plástico reciclado PET es de 1.513 gr/cm³

Granulometría del PET

Tabla 46. Granulometría del PET

MALLA	PESO	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE
TAMIZ (mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA
2"	50.00			100.0
1 1/2"	38.00			100.0
1"	25.00			100.0
3/4"	19.00			100.0
1/2"	12.70			100.0
3/8"	9.52	101.4	20.3	79.7
Nº 04	4.75	355.85	71.2	8.6
Nº 08	2.36	41.91	8.4	0.2
Nº 16	1.19	0.87	0.2	0.0
FONDO	0.00	0.0	100.0	0.0

Ilustración 42. Curva Granulométrica del PET



El resultado del ensayo de Granulometría del plástico reciclado PET nos muestra el tamaño máximo nominal de las escamas del PET siendo este de 3/8" (9.5mm).

Control de calidad de las mezclas asfálticas en caliente

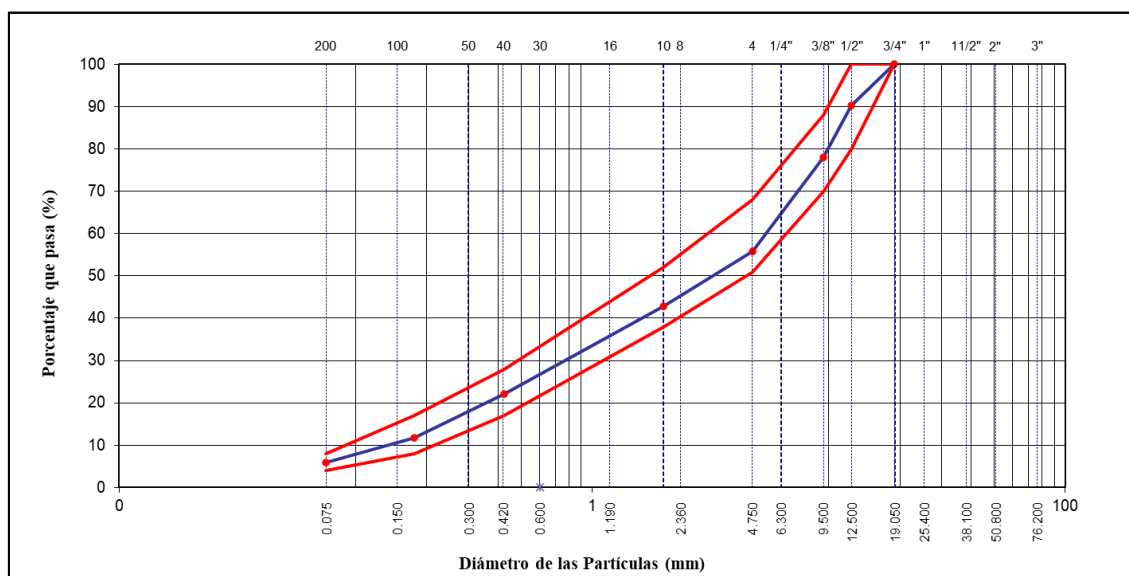
Diseño de Mezcla asfáltica en caliente

Granulometría global

Tabla 47. Resultados de la combinación de agregados para la dosificación de diseño

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	
3"	76.200					MAC - 2	
3/4"	19.000				100.0	100	
1/2"	12.500	582.47	9.7	9.7	90.3	80	100
3/8"	9.500	737.6	12.3	22.0	78.0	70	88
Nº 4	4.750	1325.9	22.1	44.1	55.9	51	68
Nº 10	2.000	782.0	13.0	57.1	42.9	38	52
Nº 40	0.425	1251.5	20.9	78.0	22.0	17	28
Nº 80	0.177	616.2	10.3	88.3	11.7	8	17
Nº 200	0.075	351.6	5.9	94.1	5.9	4	8
< N° 200	FONDO	352.8	5.9	100.0			

Ilustración 43. Curva granulométrica de la combinación de agregados para dosificación de diseño



El resultado de la combinación de agregados, según la curva granulométrica, se encuentra dentro de los rangos granulométricos para una mezcla asfáltica en caliente Tipo MAC-02. La proporción obtenida es de 45% de agregado grueso, 55% de agregado fino y 1% de relleno, con un peso total de 1200 gr.

Diseño de mezcla asfáltica convencional (MAC) mediante el método Marshall

El contenido óptimo de asfalto se cuenta promediando el peso unitario, el porcentaje de vacíos y la estabilidad Marshall. Este valor se calcula en relación con el peso total de la mezcla, que a su vez se determina según la gradación de los agregados. [29]

El resultado obtenido es de 5.8% respecto al peso total de la briqueta. Posteriormente, se propuso una dosificación para el diseño de una mezcla estándar con cinco contenidos de asfalto, variando entre el 4% y el 6% con incrementos de 0,5%. Para la compactación, se aplicarán 50 golpes por lado, correspondientes a un tráfico mediano según el método Marshall. Este procedimiento requiere de al menos tres briquetas para cada nivel de contenido de asfalto, totalizando 15 briquetas. Estas briquetas se analizan mediante el método Marshall para conseguir los resultados finales de cada una. Finalmente, se procedió con el diseño de una MAM incorporando PET en proporciones del 1%, 3%, 5% y 7%.

Dosificación de cemento asfáltico para una mezcla asfáltica convencional

Contenido asfáltico 4%

Tabla 48. Dosificación para el diseño de Mezcla Asfáltica Convencional - C.A 4%

	Material	% Mezcla	% Diseño
A	Grava Triturada	44.10	42.34
B	Arena	54.90	52.70
C	Filler	1	0.96

Se muestra la dosificación para la mezcla y el diseño de MAC con un C.A de 4%.

Tabla 49. Peso total de la Mezcla Asfáltica Convencional - C.A 4%

Peso de Muestra	1425	
Peso de C. A	60	4.00%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Se muestra el peso total de la MAC con un C.A de 4%.

Contenido asfáltico 4.5%

Tabla 50. Dosificación para el diseño de Mezcla Asfáltica Convencional - C.A 4.5%

	Material	% Mezcla	% Diseño
A	Grava Triturada	44.10	42.11
B	Arena	54.90	52.43
C	Filler	1	0.96

Se muestra la dosificación para la mezcla y el diseño de MAC con un C.A de 4.5%.

Tabla 51. Peso total de la Mezcla Asfáltica Convencional - C.A 4.5%

Peso de Muestra	1417.5	
Peso de C. A	67.5	4.50%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Se muestra el peso total de la MAC con un C.A de 4.5%.

Contenido asfáltico 5%

Tabla 52. Dosificación para el diseño de Mezcla Asfáltica Convencional - C.A 5%

	Material	% Mezcla	% Diseño
A	Grava Triturada	44.10	41.89
B	Arena	54.90	52.16
C	Filler	1	0.95

Se muestra la dosificación para la mezcla y el diseño de MAC con un C.A de 5%.

Tabla 53. Peso total de la Mezcla Asfáltica Convencional - C.A 5%

Peso de Muestra	1410	
Peso de C. A	75	5.00%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Se muestra el peso total de la MAC con un C.A de 5%.

Contenido asfáltico 5.5%

Tabla 54. Dosificación para el diseño de Mezcla Asfáltica Convencional - C.A 5.5%

	Material	% Mezcla	% Diseño
A	Grava Triturada	44.10	41.67
B	Arena	54.90	51.88
C	Filler	1	0.95

Se muestra la dosificación para la mezcla y el diseño de MAC con un C.A de 5.5%.

Tabla 55. Peso total de la Mezcla Asfáltica Convencional - C.A 5.5%

Peso de Muestra	1402.5	
Peso de C. A	82.5	5.50%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Se muestra el peso total de la MAC con un C.A de 5.5%.

Contenido asfáltico 6%

Tabla 56. Dosificación para el diseño de Mezcla Asfáltica Convencional - C.A 6%

	Material	% Mezcla	% Diseño
A	Grava Triturada	44.10	41.45
B	Arena	54.90	51.61
C	Filler	1	0.94

Se muestra la dosificación para la mezcla y el diseño de MAC con un C.A de 6%.

Tabla 57. Peso total de la Mezcla Asfáltica Convencional - C.A 6%

Peso de Muestra	1395	
Peso de C. A	90	6.00%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Se muestra el peso total de la MAC con un C.A de 6%.

Dosificación de cemento asfáltico para una mezcla asfáltica modificada

Contenido asfáltico óptimo 5.8% + 1%PET

Tabla 58. Dosificación para el diseño de Mezcla Asfáltica Modificada - C.A 5.8% + 1% PET

	Material	% Mezcla	% Diseño
A	Grava Triturada	44.10	41.54
B	Arena	54.90	51.72
C	Filler	1	0.94

Se muestra la dosificación para la mezcla y el diseño de MAM con un C.A de 5.8% + 1% PET.

Tabla 59. Peso total de la Mezcla Asfáltica Modificada - C.A 5.8% + 1% PET

Peso de Muestra	1398	
Peso de C. A	87	5.80%
Peso del Cemento	15	
Peso del PET	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1515	

Se muestra el peso total de la MAM con un C.A de 5.8% + 1% PET.

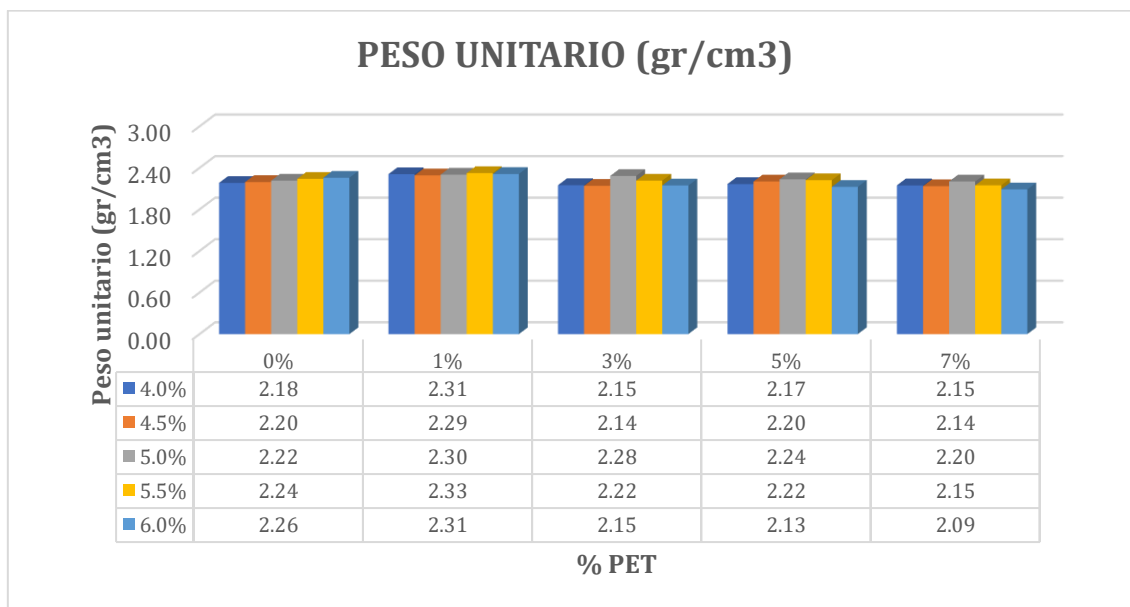
Parámetros de diseño de la MAC y MAM según el Método de Marshall

Tabla 60. Resultados Comparativos de los parámetros de diseño por el Método Marshall según el % de PET

TRÁNSITO MEDIANO						
Parámetros de diseño	Parámetros de diseño					Clase de Mezcla
	0%	1%	3%	5%	7%	B
Proporción de PET						
N° de golpes			50			50
% C. A	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	-
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.26	2.33	2.14	2.18	2.10	-
Vacíos de aire%	3.60	3.50	5.10	2.5	1.80	3 -5
Vacíos en el agregado mineral (V.M.A)	15.25	13.57	20.00	18.70	22.00	14
Vacíos llenados de C. A (V.L.L.C. A)	77.00	74.00	74.00	89.00	94.00	65 - 78
Flujo 0.01" (0.25mm)	15.00	18.2	27.40	39.50	42.00	8 -16
Estabilidad (kN)	13.53	13.68	10.00	11.28	7.85	5.44 kN
Polvo/Asfalto	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.6 – 1.3
Estabilidad/Flujo	3622.05	3017.65	1465.60	1146.22	749.91	1700 - 4000

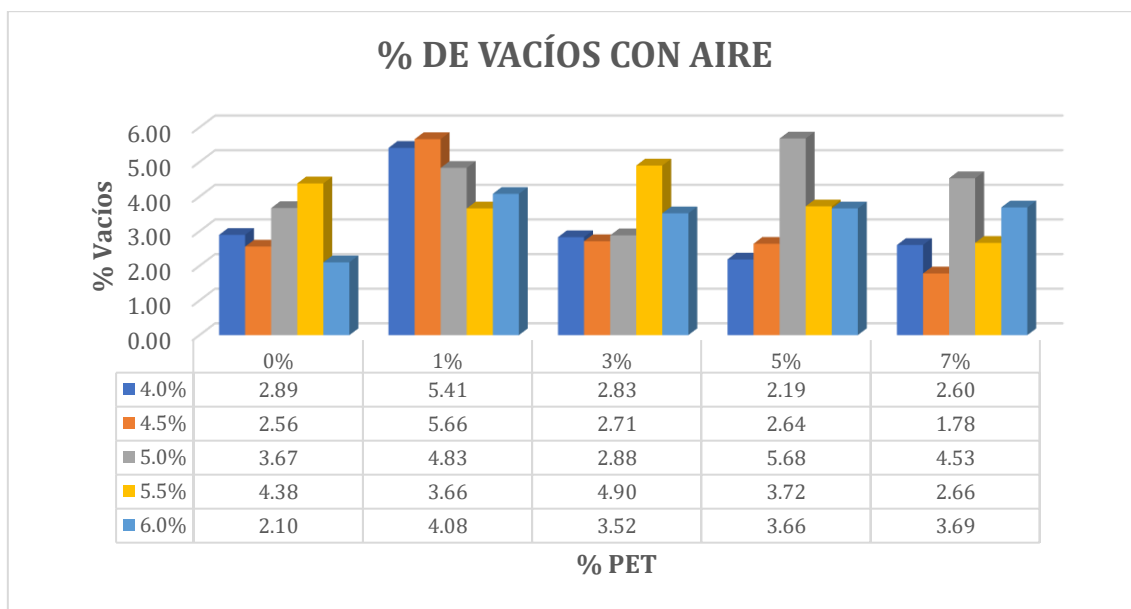
Los resultados obtenidos del estudio de investigación, demuestran que el porcentaje óptimo de adición es el 1% de PET.

Ilustración 44. Gráfico de resultados del Peso Unitario con respecto al C.A



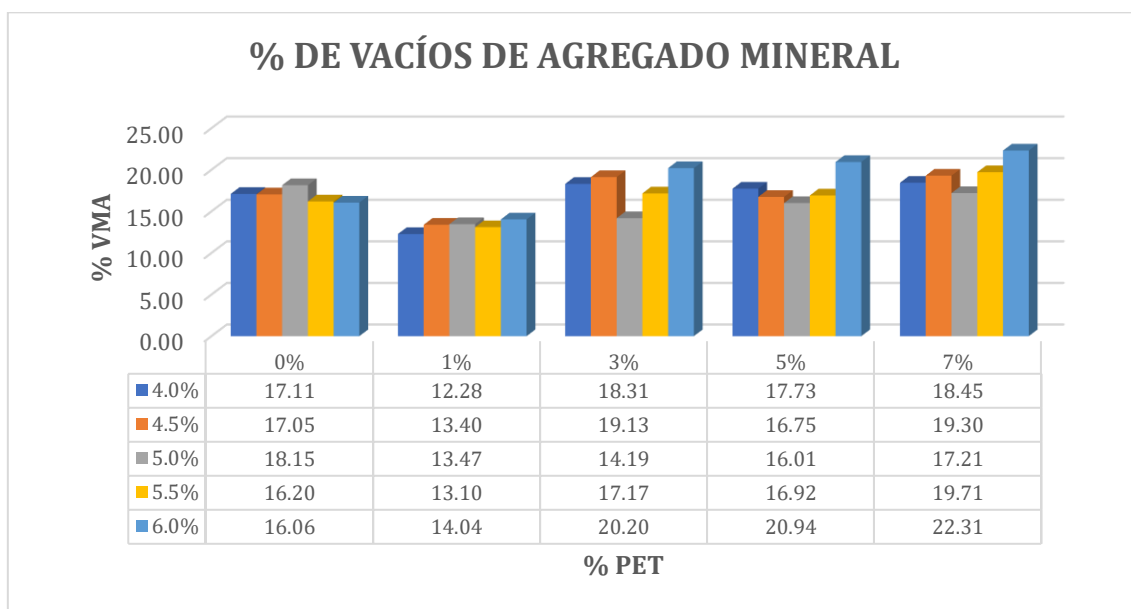
Este gráfico muestra los resultados del peso unitario con respecto a cada % C.A de una MAC convencional y de una MAC + (1%, 3%, 5%, 7%) de PET para los contenidos de 4%, 4.5%, 5%, 5.5% y 6%.

Ilustración 45. Gráfico de resultados del % de Vacíos con aire con respecto al C.A



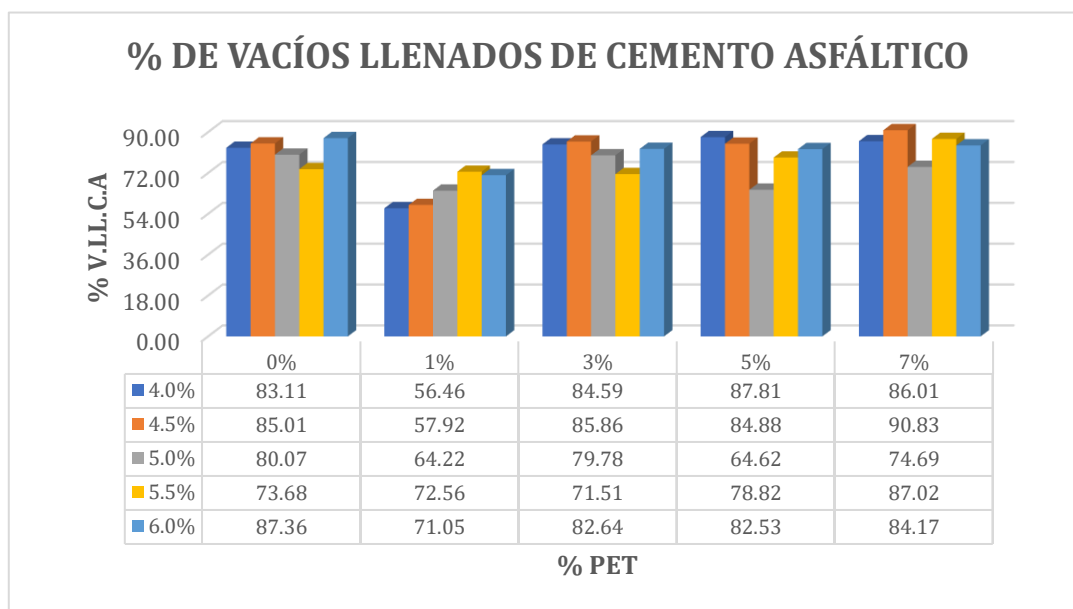
Este gráfico muestra los resultados del % vacíos con aire con respecto a cada % C.A de una MAC convencional y de una MAC + (1%, 3%, 5%, 7%) de PET para los contenidos de 4%, 4.5%, 5%, 5.5% y 6%.

Ilustración 46. Gráfico de resultados del % Vacíos con agregado mineral con respecto al C.A



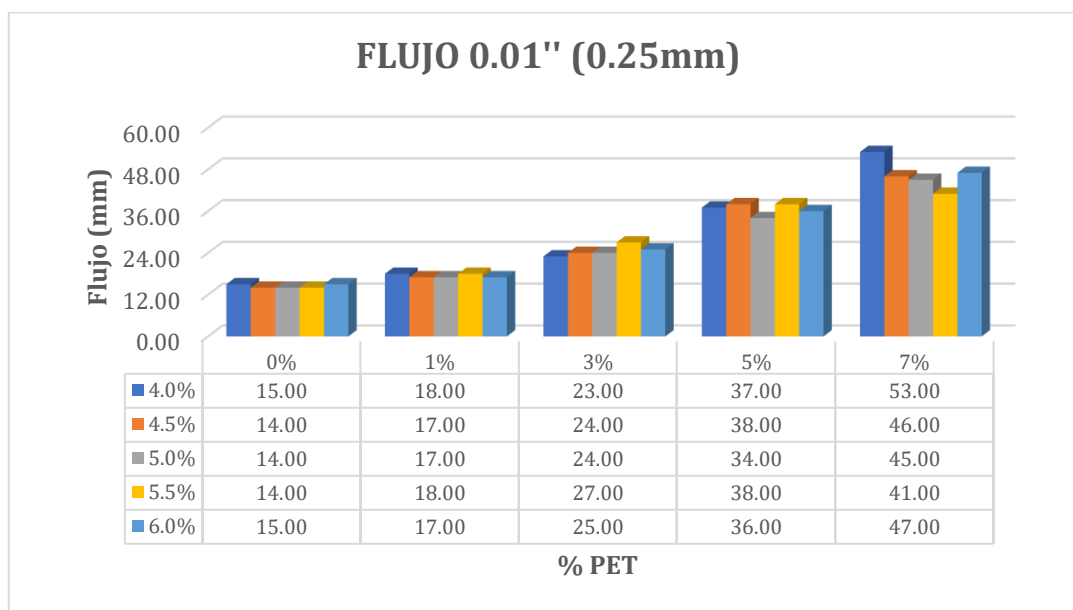
Este gráfico muestra los resultados del % vacíos de agregado mineral con respecto a cada % C.A de una MAC convencional y de una MAC + (1%, 3%, 5%, 7%) de PET para los contenidos de 4%, 4.5%, 5%, 5.5% y 6%.

Ilustración 47. Gráfico de resultados del % V.L.L.C.A con respecto al C.A



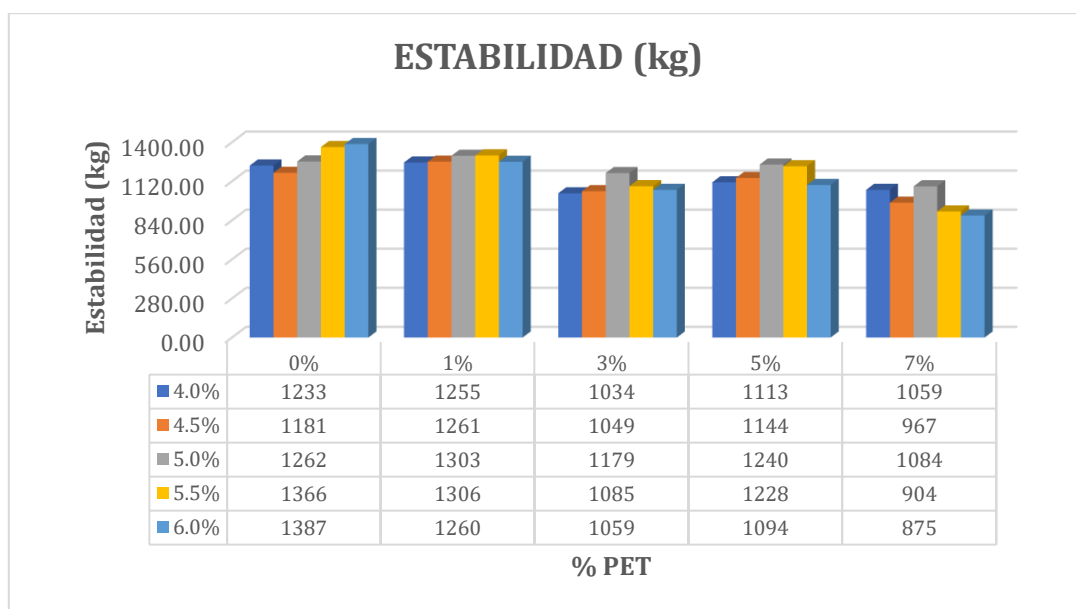
Este gráfico muestra los resultados del % vacíos llenados de cemento asfáltico con respecto a cada % C.A de una MAC convencional y de una MAC + (1%, 3%, 5%, 7%) de PET para los contenidos de 4%, 4.5%, 5%, 5.5% y 6%.

Ilustración 48. Gráfico de resultados del Flujo con respecto al C.A



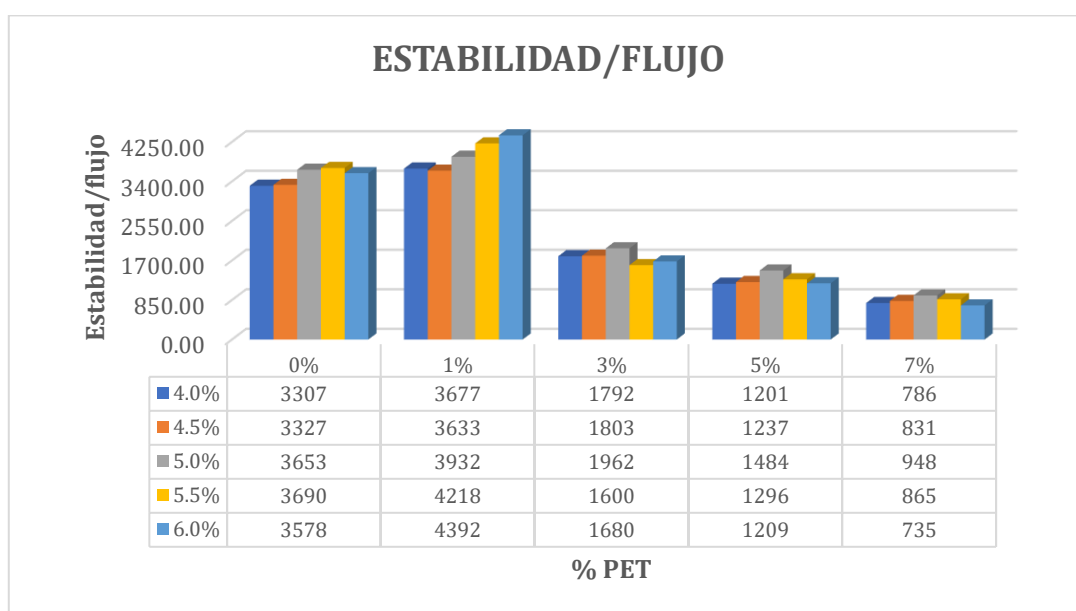
Este gráfico muestra los resultados del flujo con respecto a cada % C.A de una MAC convencional y de una MAC + (1%, 3%, 5%, 7%) de PET para los contenidos de 4%, 4.5%, 5%, 5.5% y 6%.

Ilustración 49. Gráfico de resultados de la Estabilidad con respecto al C.A



Este gráfico muestra los resultados de la estabilidad con respecto a cada % C.A de una MAC convencional y de una MAC + (1%, 3%, 5%, 7%) de PET para los contenidos de 4%, 4.5%, 5%, 5.5% y 6%.

Ilustración 50. Gráfico de resultados de la relación Estabilidad/Flujo con respecto al C.A



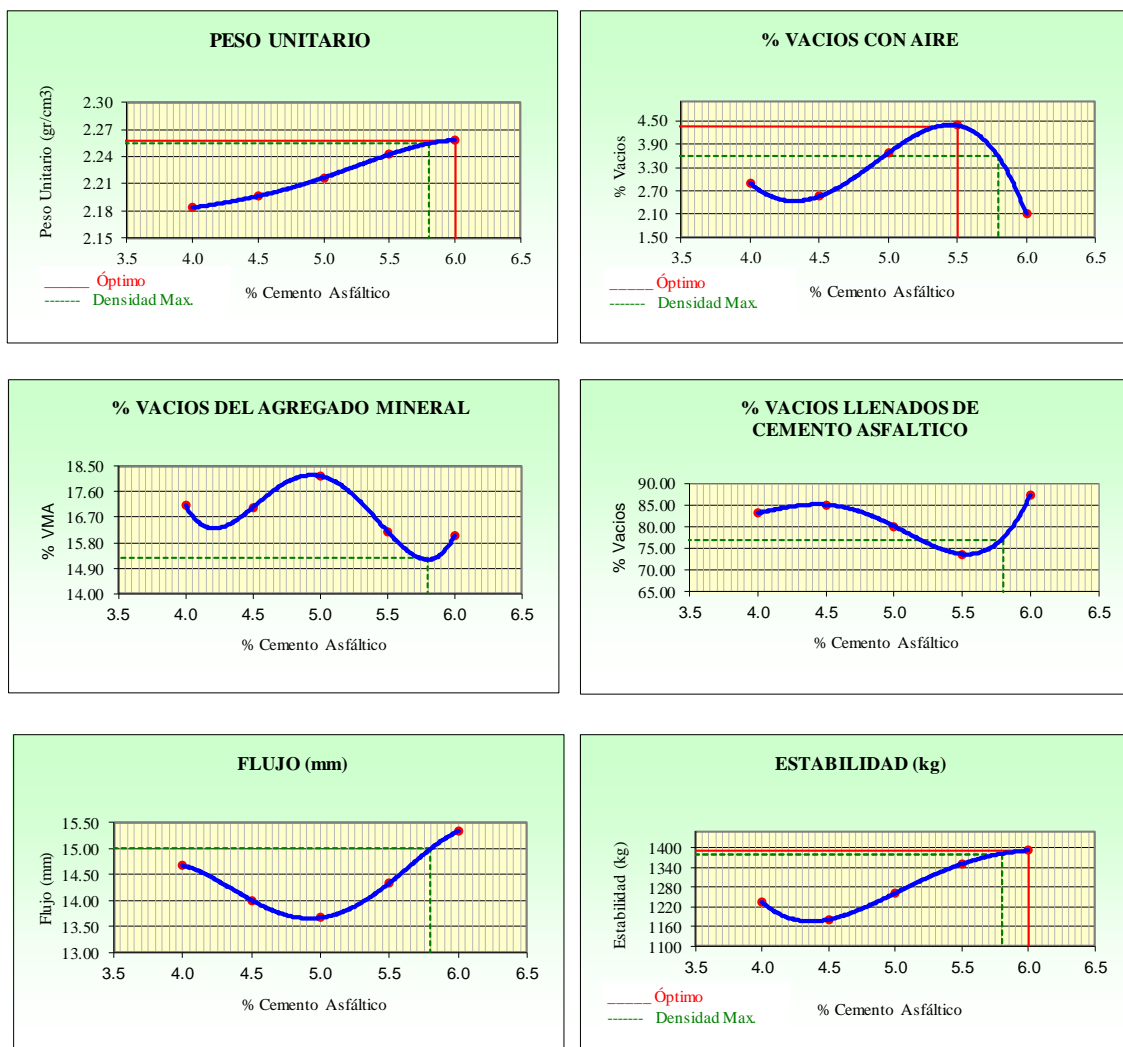
Este gráfico muestra los resultados de la relación de estabilidad/flujo con respecto a cada % C.A de una MAC convencional y de una MAC + (1%, 3%, 5%, 7%) de PET para los contenidos de 4%, 4.5%, 5%, 5.5% y 6%.

Representación gráfica del diseño asfáltico mediante el método de Marshall

Las siguientes representaciones gráficas fueron realizadas mediante el método de Marshall según el ASTM D 1559 – AASTHO T 245, considerando el contenido de asfalto en el eje x, mientras que los parámetros de diseño se evalúan en el eje y.

Mezcla asfáltica convencional (MAC)

Ilustración 51. Gráficos % Contenido de asfalto vs. Parámetros de diseño para MAC convencional

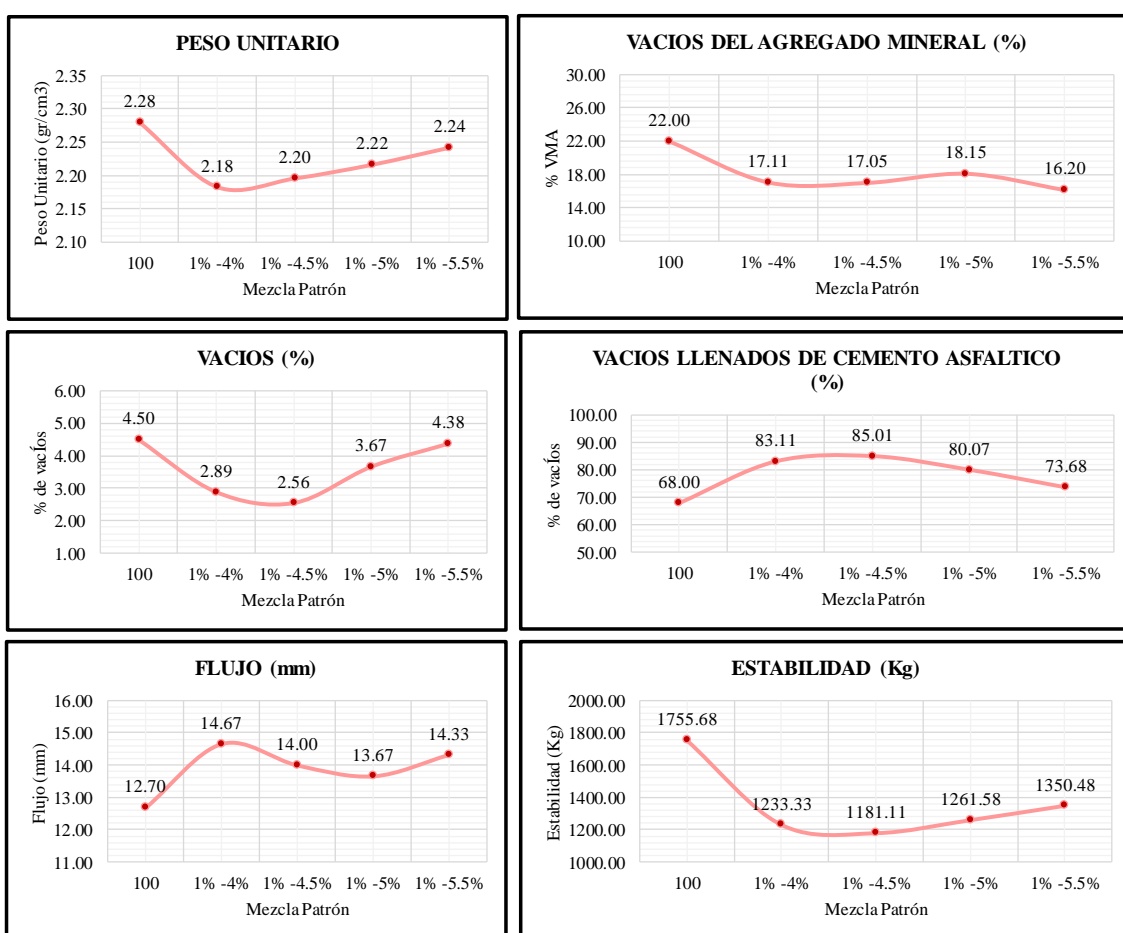


Los gráficos muestran que con el % C.A se obtuvo el peso unitario, % vacíos con aire, % vacíos del agregado mineral, % vacíos llenados de cemento asfáltico, flujo y estabilidad respecto a una MAC convencional.

Tabla 61. Análisis de los resultados obtenidos en el diseño de mezcla para MAC convencional

RESULTADOS								
Relación Pen-Filler	Peso Unitario (gr/cm ²)	Vacíos (%)	Vacíos del agregado Mineral (%)	Vacíos Llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo
100	2.28	4.50	22.00	68.00	12.70	1755.68	1.23	1809.22
1% -4%	2.18	2.89	17.11	83.11	14.67	1233.33	1.23	3306.54
1% -4.5%	2.20	2.56	17.05	85.01	14.00	1181.11	1.23	3327.22
1% -5%	2.22	3.67	18.15	80.07	13.67	1261.58	1.23	3652.99
1% -5.5%	2.24	4.38	16.20	73.68	14.33	1350.48	1.23	3689.67
1% -6%	2.26	2.10	16.06	87.36	15.33	1391.72	1.23	3578.21

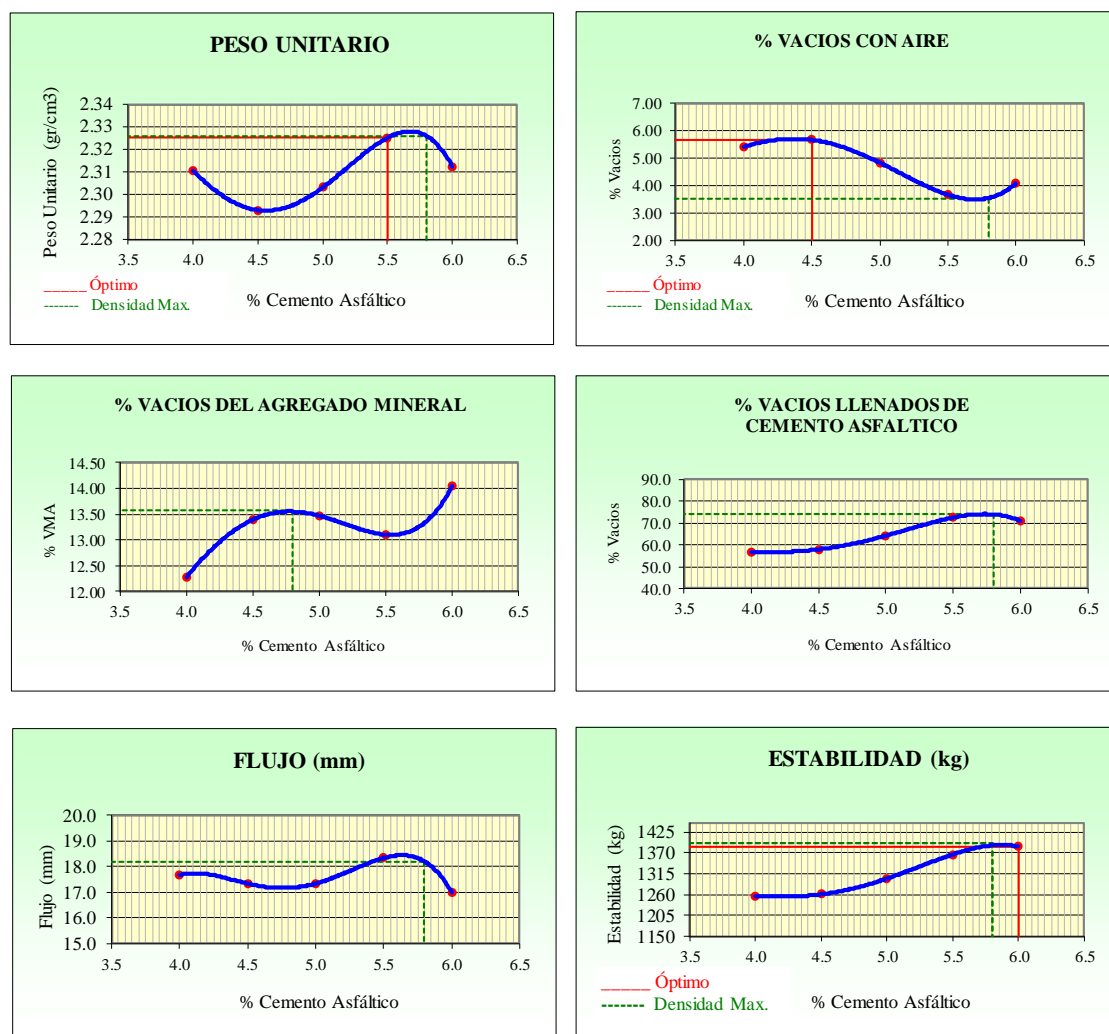
Ilustración 52. Análisis de los resultados obtenidos en el diseño de mezcla para MAC convencional



Los gráficos muestran el análisis de los resultados obtenidos en el diseño de mezcla de una MAC convencional respecto al % vacíos con aire, % vacíos del agregado mineral, % vacíos llenados de C.A y flujo.

Mezcla asfáltica modificada (MAM)

Ilustración 53. Gráficos % Contenido de asfalto vs. Parámetros de diseño para MAC + 1% PET

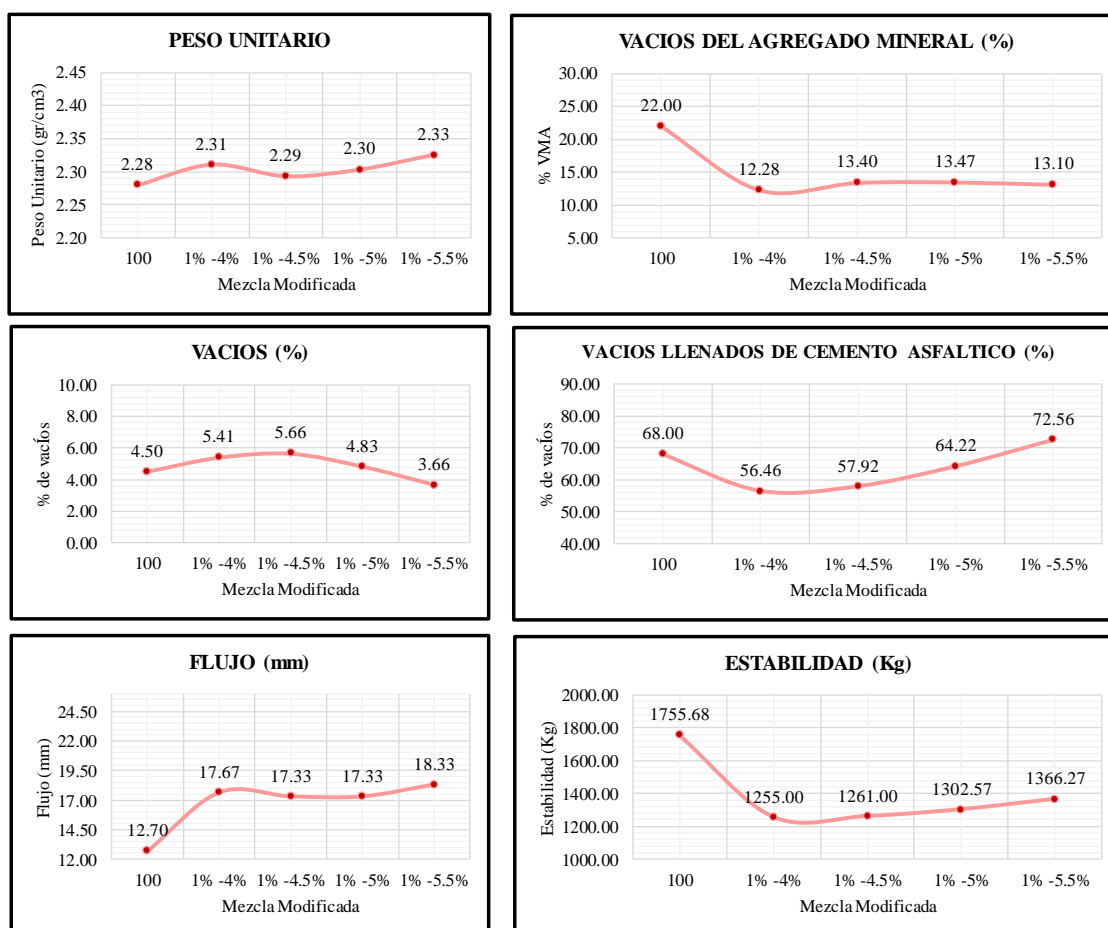


Los gráficos muestran que con el % C.A se obtuvo el peso unitario, % vacíos con aire, % vacíos del agregado mineral, % vacíos llenados de cemento asfáltico, flujo y estabilidad respecto a una MAC + 1% PET.

Tabla 62. Análisis de los resultados obtenidos en el diseño de mezcla para MAC + 1% PET

RESULTADOS								
Relación Pen-Filler	Peso Unitario (gr/cm ²)	Vacíos (%)	Vacíos del agregado Mineral (%)	Vacíos Llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo
100	2.28	4.50	22.00	68.00	12.70	1755.68	1.23	1809.22
1% -4%	2.31	5.41	12.28	56.46	17.67	1255.00	1.23	2846.31
1% -4.5%	2.29	5.66	13.40	57.92	17.33	1261.00	1.23	2888.46
1% -5%	2.30	4.83	13.47	64.22	17.33	1302.57	1.23	2989.98
1% -5.5%	2.33	3.66	13.10	72.56	18.33	1366.27	1.23	2963.86
1% -6%	2.31	4.08	14.04	71.05	17.00	1386.67	1.23	3218.39

Ilustración 54. Gráficos de los resultados obtenidos en el diseño de mezcla para MAC + 1% PET



Los gráficos muestran el análisis de los resultados obtenidos en el diseño de mezcla de una MAC + 1% PET respecto al % vacíos con aire, % vacíos del agregado mineral, % vacíos llenados de C.A y flujo.

Ensayo Rice AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

Gravedad Específica

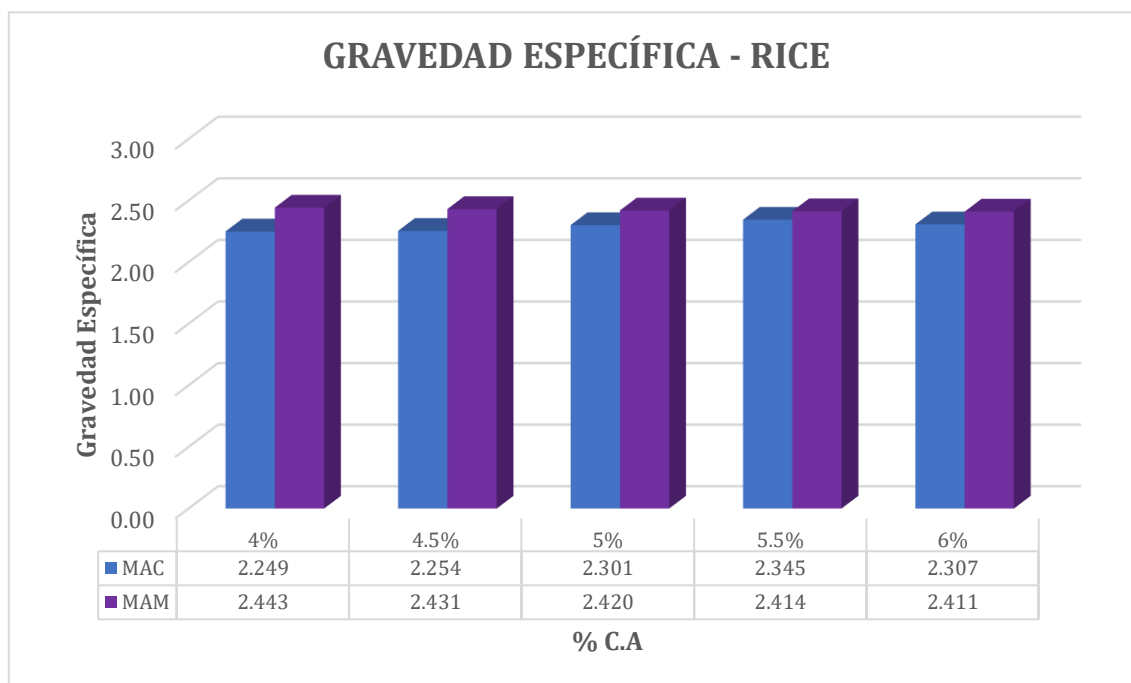
Tabla 63. Resultados de la Gravedad Específica de una MAC convencional

PORCENTAJE DE ASFALTO	4%	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	724	724	724	724	724
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2550	2550	2550	2550	2550
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	1883	1885	1898	1910	1900
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3382.9	3384.5	3398.2	3410.4	3399.7
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	667	666	652	640	650
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.249	2.254	2.301	2.345	2.307

Tabla 64. Resultados de la Gravedad Específica de una MAC + 1%PET

PORCENTAJE DE ASFALTO	4%	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	724	724	724	724	724
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2550	2550	2550	2550	2550
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	1936	1933	1930	1929	1928
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3435.9	3432.9	3430.2	3428.5	3427.8
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	614	617	620	622	622
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.443	2.431	2.420	2.414	2.411

Ilustración 55. Gráfico Comparativo de la Gravedad Específica de la MAC vs. MAM



Los resultados de la Gravedad Específica de una MAC vs. MAM demuestran los diferentes resultados obtenidos con respecto al % C.A de 4% - 6%.

Análisis comparativo de los parámetros de diseño mediante el método Marshall de la mezcla asfáltica convencional (MAC) y la mezcla asfáltica modificada (MAM)

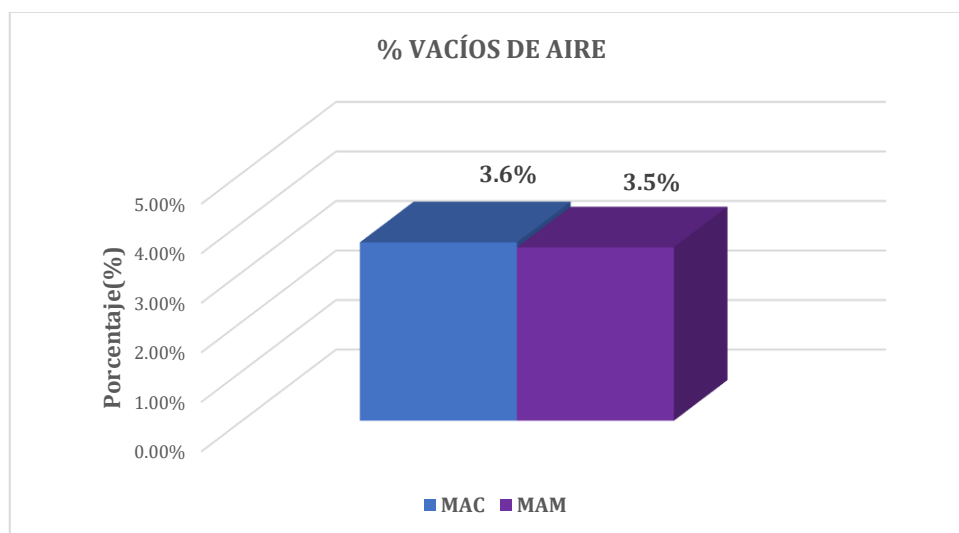
Después de establecer los parámetros de diseño Marshall se realizará una comparación con las especificaciones del EG-2013. Estos resultados se presentan de manera más clara a través de las siguientes representaciones gráficas.

Tabla 65. Análisis comparativo de los parámetros de diseño de MAC vs. MAM

PARÁMETROS DE DISEÑO MÉTODO MARSHALL	MAC	MAM	CLASE DE MEZCLA B
Vacíos de aire%	3.60	3.50	3 -5
Vacíos en el agregado mineral (V.M.A)	15.25	13.57	14
Vacíos llenados de C. A (V.L.L.C. A)	77.00	74.00	65 - 78
Flujo 0.01" (0.25mm)	15	18.2	8 -16
Estabilidad (kN)	13.53	13.68	5.44 kN
Polvo/Asfalto	0.99	0.99	0.6 – 1.3
Estabilidad/Flujo	3622.05	3017.65	1700 - 4000

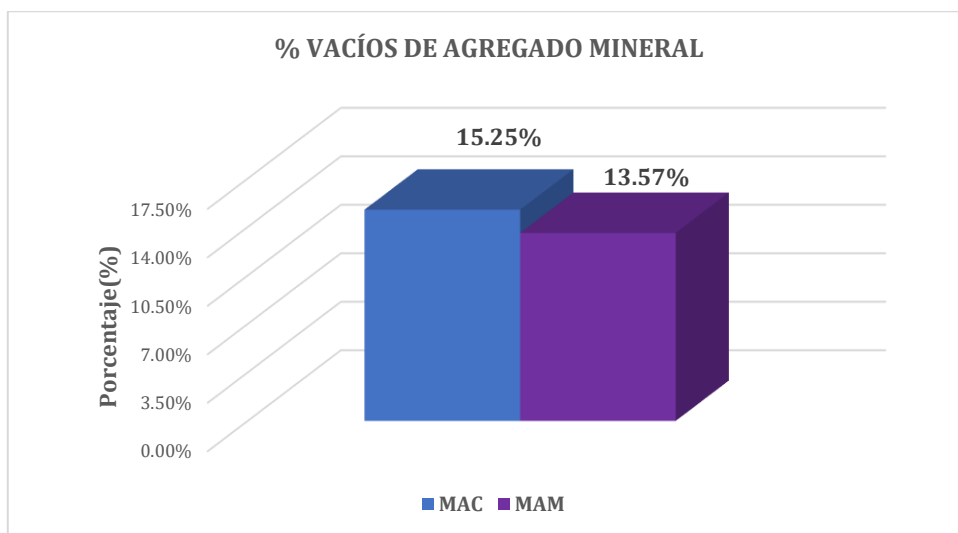
El análisis comparativo demuestra los diferentes resultados obtenidos entre los parámetros de diseño de MAC y MAM según las especificaciones técnicas para un tránsito mediano correspondiente a una mezcla clase B.

Ilustración 56. Gráfico Comparativo entre el % vacíos de aire de la MAC vs. MAM



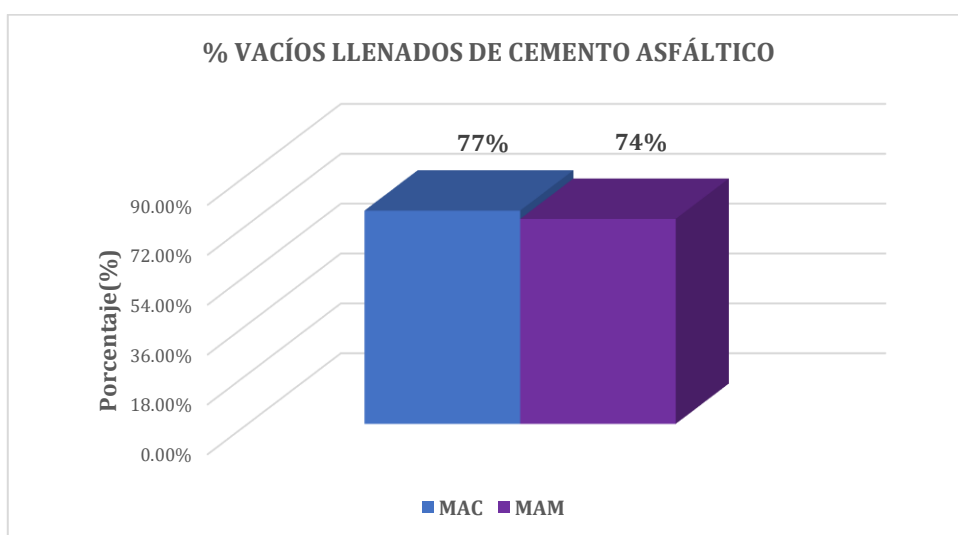
El resultado del % vacíos de aire para la MAC y MAM es de 3.6 y 3.5 respectivamente, donde se observó que el parámetro de diseño disminuyó, sin embargo, cumple con el requerimiento establecido para un tránsito mediano correspondiente a una MAC-02 clase B que da un rango de 3-5%.

Ilustración 57. Gráfico Comparativo entre el % vacíos de agregado mineral de la MAC vs. MAM



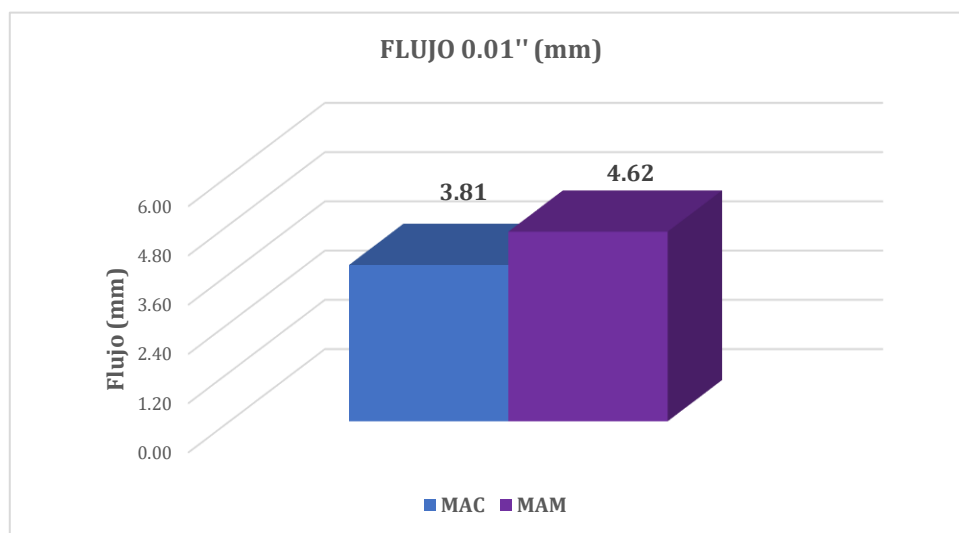
El resultado del % vacíos del agregado mineral para la MAC y MAM es de 15.25 y 13.57 respectivamente, donde se observó que el parámetro de diseño disminuyó, sin embargo, cumple con el requerimiento establecido para un tránsito mediano correspondiente a una MAC-02 clase B que da un mínimo de 14.

Ilustración 58. Gráfico Comparativo entre el % vacíos llenados de C.A de la MAC vs. MAM



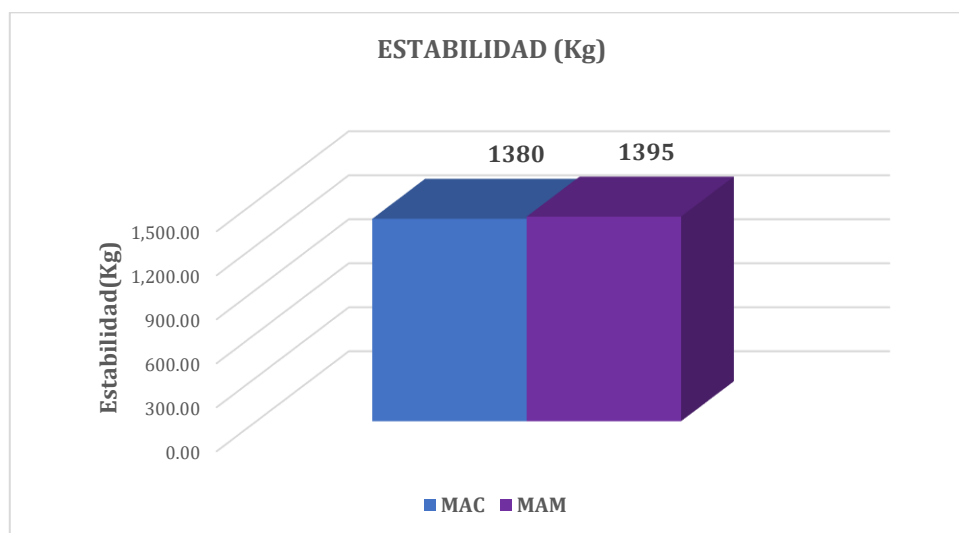
El resultado del % vacíos del agregado mineral para la MAC y MAM es de 77 y 74 respectivamente, donde se observó que el parámetro de diseño disminuyó, sin embargo, cumple con el requerimiento establecido para un tránsito mediano correspondiente a una MAC-02 clase B que da un rango de 65-78.

Ilustración 59. Gráfico Comparativo entre el flujo de la MAC vs. MAM



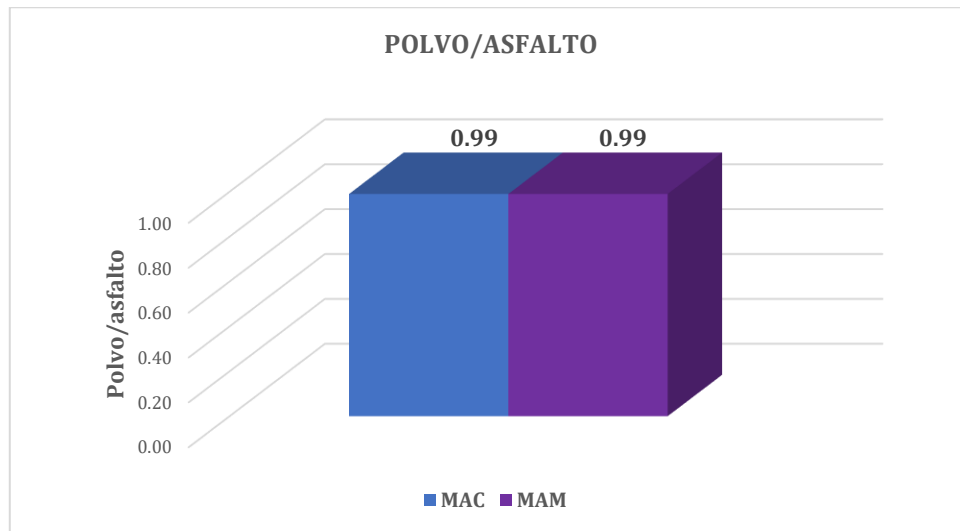
El resultado de flujo Marshall para la MAC y MAM es de 15(3.81 mm) y 18.2(4.62mm) respectivamente, donde se observó que el parámetro de diseño disminuyó, sin embargo, cumple con el requerimiento establecido para un tránsito mediano correspondiente a una MAC-02 clase B que da un rango de 8-16.

Ilustración 60. Gráfico Comparativo entre la estabilidad de la MAC vs. MAM



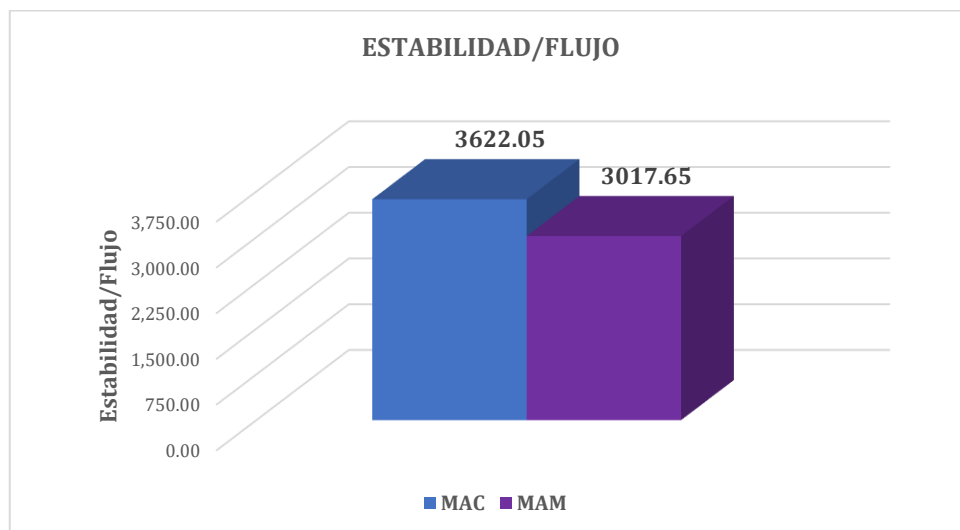
El resultado de estabilidad para la MAC y MAM es de 1380 y 1395 respectivamente, donde se observó que el parámetro de diseño disminuyó, sin embargo, cumple con el requerimiento establecido para un tránsito mediano correspondiente a una MAC-02 clase B que da un mínimo de 5.44 kN.

Ilustración 61. Gráfico Comparativo entre la relación polvo/asfalto de la MAC y MAM



El resultado de la relación de polvo/asfalto para la MAC y MAM es de 0.99, donde se observó que el parámetro se mantiene cumpliendo con el requerimiento establecido para un tránsito mediano correspondiente a una MAC-02 clase B que da un rango de 0.6-1.3.

Ilustración 62. Gráfico Comparativo entre la relación estabilidad/flujo de la MAC vs. MAM



El resultado de la relación estabilidad/flujo para la MAC y MAM es de 3622.05 y 3017.65 respectivamente, donde se observó que el parámetro de diseño disminuyó, sin embargo, cumple con el requerimiento establecido para un tránsito mediano correspondiente a una MAC-02 clase B que da un rango de 1700-4000.

Ensayo de Lottman Modificado

Para realizar el ensayo de Lottman Modificado se procede a la elaboración de briquetas, siguiendo metodología Marshall, que se explicó anteriormente. Siendo una total de 6

briquetas para cada diseño de una MAC y MAM, tomando en cuenta que según las especificaciones se deberán ensayar como mínimo el mismo número de muestras por cada diseño. Además, estas serán sometidas a diferentes grados de temperatura de 25° C y 60°C teniendo muestras sumergidas y secas para realizar dicho ensayo.

Tabla 66. Resultados del ensayo de Lottman Modificado TRS para una MAC convencional

DATOS		MUESTRAS SUMERGIDAS					MUESTRAS SECAS			
-	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.	4	5	6	Prom.
D	Diámetro	cm	10.2	10.2	10.2		10.16	10.16	10.16	
t	Espesor	cm	6.9	6.8	6.9		6.6	6.7	6.8	
A	Peso de la muestra Seca al Aire	gr	1136.8	1221.4	1108.6	1155.6	1212.6	1233.9	1259.6	1235.4
B	SSD de la Muestra	gr	1130.1	1224.8	1111.2		1213.7	1236.6	1261.2	
C	Peso de la Muestra en Agua	gr	650	678	624		702.5	677.9	694.1	
E	Volumen (B - C)	cc.	480.1	546.8	487.2		511.2	558.7	567.1	
F	Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/cc	2.368	2.234	2.275	2.3	2.372	2.209	2.221	2.3
G	Peso específico teórico máximo (Rice)	gr/cc	2.413	2.413	2.413	2.4	2.413	2.413	2.413	2.4
H	% de vacíos ((G - F) / G) *100	%	1.86	7.42	5.69	5.0	1.69	8.47	7.94	6.0
I	Volumen de vacíos ((H*E) /100)	cc	8.94	40.58	27.73		8.63	47.30	45.05	
Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28" Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C										
B'	SSD de la Muestra	gr	1139.27	1228.62	1115.61					
C'	Peso de la Muestra en Agua	gr	610	595	575					
E'	Volumen de la Muestra (B' - C')	cc	529.3	633.6	540.6					
J'	Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	2.5	7.2	7.0					
-	Saturación (100*J'/I)	%		27.6	17.8	25.3				
-	Hinchamiento (E' - E) *100/E	%		10.24	15.88	10.96				
Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María										
t''	Espesor	cm	6.8	6.9	6.7					
B''	SSD de la Muestra	gr	1144.60	1245.20	1172.60					
C''	Peso de la Muestra en Agua	gr	560	536	545					
E''	Volumen (B'' - C'')	cc	584.6	709.2	627.6					
J''	Volumen de Agua de Absorción (B'' - A)	cc	7.8	23.8	64.0					
-	Saturación (100*J''/I)	%	87.2	58.6	230.8					
-	Hinchamiento (E'' - E) *100/E	%	19.74	25.63	25.97					
-	Carga Máxima Kg	kg	218	111	297	210	224.8	312		
-	Carga Máxima N	N	2138.58	1088.91	2913.57	2047.02	2060.10	2205.29	3060.72	2442.00
-	Fuerza Tensible KPA	kg/cm2	2.01	1.01	2.78	1.93	1.99	2.10	2.87	2.32
RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TRS) =							83.121%			

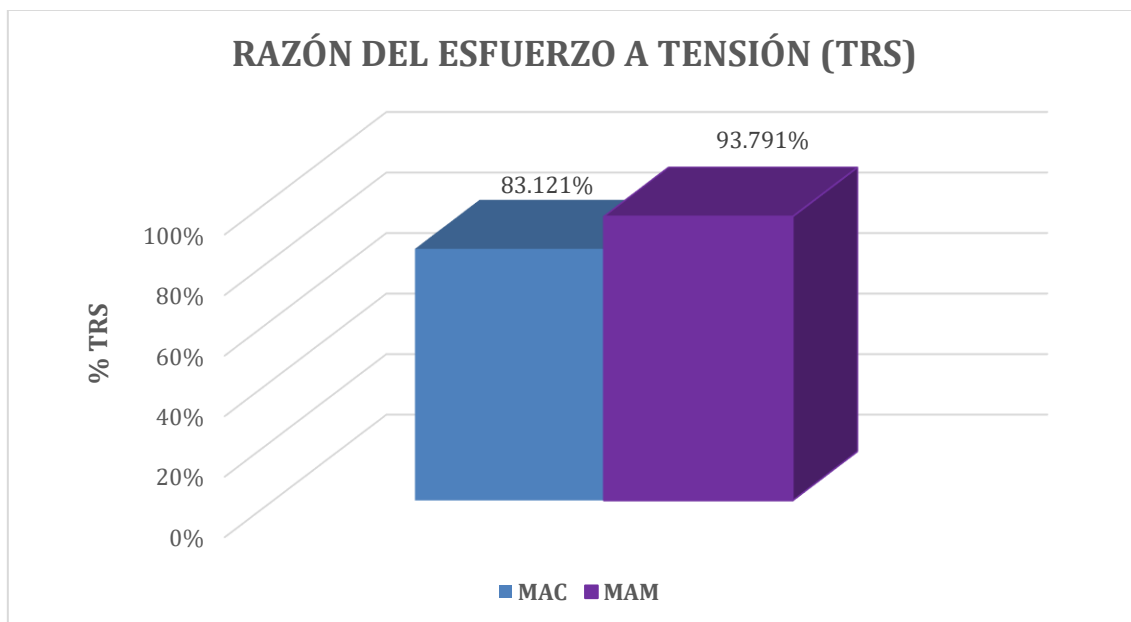
La razón del esfuerzo a tensión de una MAC convencional es de 83,121%

Tabla 67. Resultados del ensayo de Lottman Modificado TRS para una MAC modificada

DATOS			MUESTRAS SUMERGIDAS				MUESTRAS SECAS			
-	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.	4	5	6	Prom.
D	Diámetro	cm	10.2	10.2	10.2		10.16	10.16	10.16	
t	Espesor	cm	6.9	6.8	6.9		6.6	6.7	6.8	
A	Peso de la muestra Seca al Aire	gr	1120	1130	1110	1120	1212.6	1233.9	1259.6	1235.4
B	SSD de la Muestra	gr	1110	1120	1120		1213.7	1236.6	1261.2	
C	Peso de la Muestra en Agua	gr	590	585	615		702.5	677.9	694.1	
E	Volumen (B - C)	cc	520	535	505		511.2	558.7	567.1	
F	Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/cc	2.154	2.112	2.198	2.2	2.372	2.209	2.221	2.3
G	Peso específico teórico máximo (Rice)	gr/cc	2.791	2.791	2.791	2.8	2.791	2.791	2.791	2.8
H	% de vacíos ((G - F) / G) *100	%	22.84	24.34	21.26	22.8	15.02	20.88	20.43	18.8
I	Volumen de vacíos ((H*E) /100)	cc	118.78	130.20	107.36		76.81	116.68	115.87	
Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28" Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C										
B'	SSD de la Muestra	gr	1133.27	1158.62	1131.61					
C'	Peso de la Muestra en Agua	gr	560	585	565					
E'	Volumen de la Muestra (B' - C')	cc	573.3	573.6	566.6					
J'	Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	13.3	28.6	21.6					
-	Saturación (100*J'/I)	%		11.2	22.0	20.1				
-	Hinchamiento (E' - E) *100/E	%	10.24	7.22	12.20					
Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María										
t''	Espesor	cm	6.80	6.90	6.70					
B''	SSD de la Muestra	gr	1134.6	1165.2	1132.6					
C''	Peso de la Muestra en Agua	gr	560	536	545					
E''	Volumen (B'' - C'')	cc	574.6	629.2	587.6					
J''	Volumen de Agua de Absorción (B'' - A)	cc	14.6	35.2	22.6					
-	Saturación (100*J''/I)	%	12.3	27.0	21.1					
-	Hinchamiento (E'' - E) *100/E	%	9.52	16.42	14.58					
-	Carga Máxima Kg	kg	262	246	235		202	268.0	312	
-	Carga Máxima N	N	2570.22	2413.26	2305.35	2429.61	1981.62	2629.08	3060.72	2557.1
-	Fuerza Tensible KPA	kg/cm2	2.41	2.23	2.20	2.28	1.92	2.51	2.87	2.43
RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TRS) =							93.791%			

La razón del esfuerzo a tensión de una MAC convencional es de 93.791%

Ilustración 63. Gráfico Comparativo de los resultados del ensayo de Lottman Modificado de una MAC vs MAM



Este gráfico muestra los resultados del ensayo de Lottman Modificado de MAC convencional vs. MAM indicando un aumento del 10.67% de razón del esfuerzo a tensión (TRS) de la MAC +1% PET con respecto a la convencional.

Ensayo de Módulo Resiliente

Para realizar el ensayo de Módulo Resiliente se procede a la elaboración de briquetas, siguiendo metodología Marshall, que se explicó anteriormente. Siendo una total de 3 briquetas para cada diseño de una MAC y MAM, tomando en cuenta que según las especificaciones se deberán ensayar como mínimo 1 muestra por cada diseño. Además, estas serán sometidas a diferentes grados de temperatura de 5° C, 25° C y 40°C para realizar dicho ensayo.

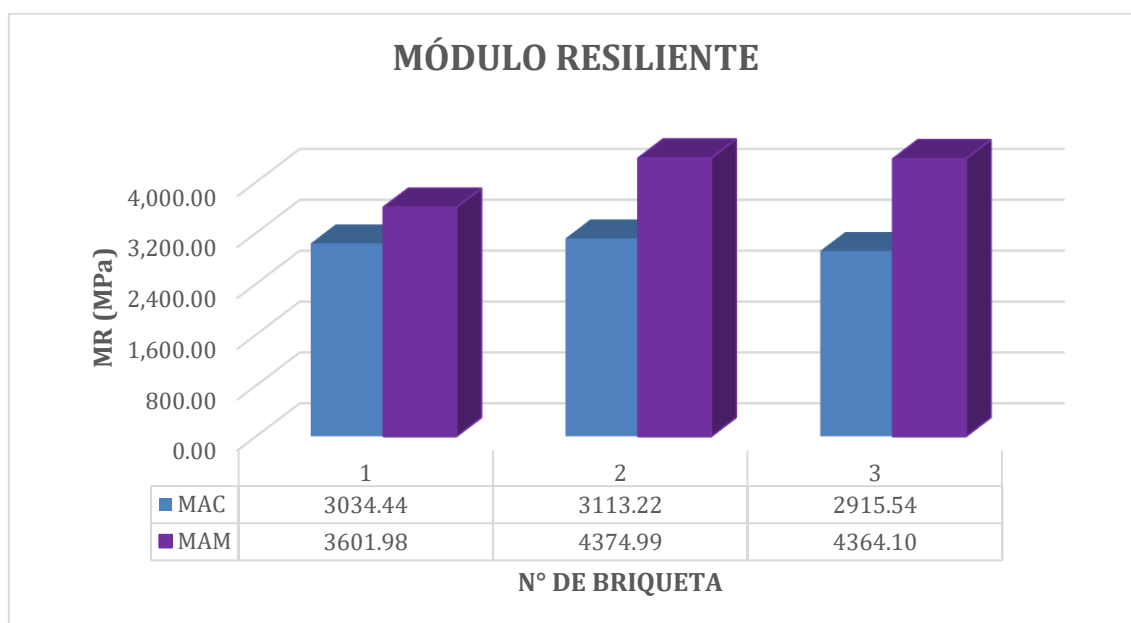
Tabla 68. Resultados del ensayo de Módulo Resiliente para una MAC convencional

	N° DE BRIQUETA		
	1	2	3
1 TIPO DE MUESTRA	CONVENCIONAL		
2 FRECUENCIA	10 Hz		
3 COEFICIENTE DE POISSON ESTIMADO	0.35		
4 TEMPERATURA ° C	5° C	25° C	40° C
5 ESPESOR (mm)	65.1	67.9	68.5
6 DEFORMACIÓN HORIZONTAL #1 (µm)	1.689	2.373	2.229
7 DEFORMACIÓN HORIZONTAL #2 (µm)	2.705	1.742	2.111
8 DEFORMACIÓN TOTAL HORIZONTAL RECUPERABLE (µm)	4.394	4.115	4.340
9 FUERZA DE CARGA MÁXIMA (N)	1400	1403	1398
10 MÓDULO RESILIENTE (Mpa)	3034.44	3113.22	2915.54
11 MÓDULO RESILIENTE PROMEDIO(Mpa)	3021.066		

Tabla 69. Resultados del ensayo de Módulo Resiliente para una MAC modificada

N° DE BRIQUETA	1	2	3
1 TIPO DE MUESTRA	MODIFICADA		
2 FRECUENCIA	10 Hz		
3 COEFICIENTE DE POISSON ESTIMADO	0.35		
4 TEMPERATURA ° C	5° C	25° C	40° C
5 ESPESOR (mm)	65.9	62.5	65.0
6 DEFORMACIÓN HORIZONTAL #1 (µm)	1.741	1.400	1.603
7 DEFORMACIÓN HORIZONTAL #2 (µm)	1.887	1.754	1.446
8 DEFORMACIÓN TOTAL HORIZONTAL RECUPERABLE (µm)	3.628	3.154	3.049
9 FUERZA DE CARGA MÁXIMA (N)	1389	1391	1395
10 MÓDULO RESILIENTE (Mpa)	3601.98	4374.99	4364.10
11 MÓDULO RESILIENTE PROMEDIO(Mpa)	4113.691		

Ilustración 64. Gráfico Comparativo de los resultados del ensayo de Módulo Resiliente de una MAC vs. MAM



Los resultados del ensayo de Módulo Resiliente por tracción indirecta indican que el módulo de una MAC y MAM es de 3021.066 Mpa y 4113.691 MPa respectivamente, cumpliendo con las especificaciones establecidas en el ASTM D 4123-82 / AASTHO TP31 - INDIRECT TENSIBLE MODULUS TEST.

Ensayo de Cántabro

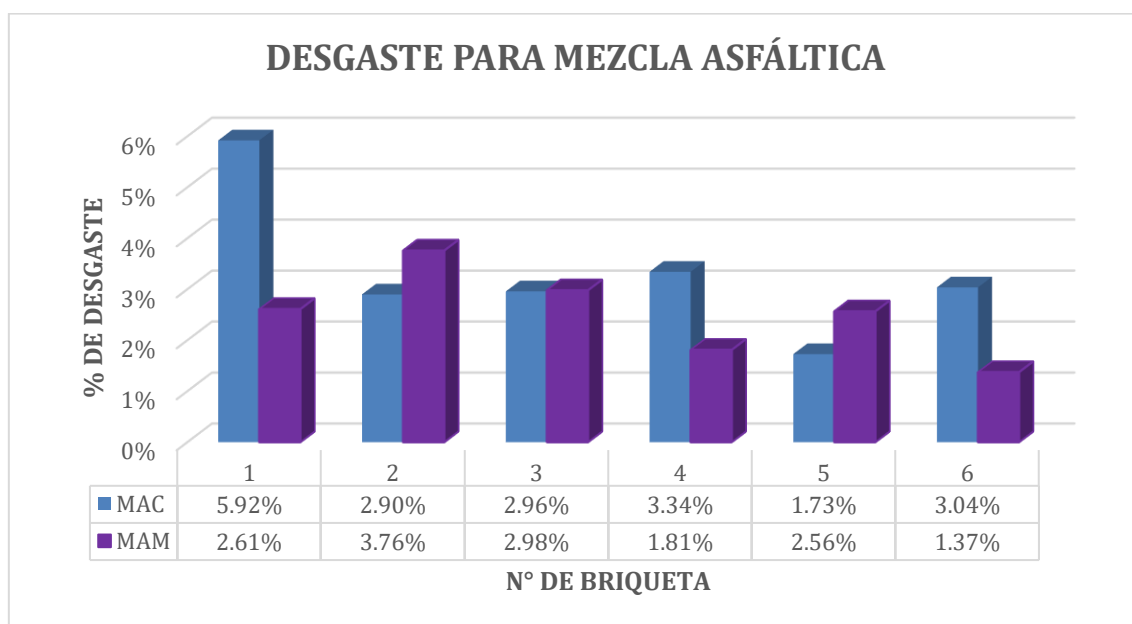
Para realizar el ensayo de cántabro se procede a la elaboración de briquetas, siguiendo metodología Marshall, que se explicó anteriormente. Siendo una total de 6 briquetas para cada diseño de una MAC y MAM, tomando en cuenta que según las especificaciones se deberán ensayar como mínimo un total de 4 muestras por cada diseño. Además, estas

tendrán una compactación de 50 golpes por lado siendo sometidas a la máquina de los ángeles sin carga abrasiva de las esferas a 30 rpm (300 vueltas) para realizar dicho ensayo.

Tabla 70. Resultados del ensayo de mezclas bituminosas mediante la pérdida por desgaste - Cántabro

N° DE BRIQUETA	TIPO DE MEZCLA	% DE PET	N° DE REV.	TEMPERATURA °C	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DESGASTE	PROMEDIO
1	CONVENCIONAL	0%	300	NO ESPECIFICADA	1131.82	1064.82	5.92%	3.31%
2	CONVENCIONAL	0%	300	NO ESPECIFICADA	1171.91	1137.95	2.90%	
3	CONVENCIONAL	0%	300	NO ESPECIFICADA	1151.77	1117.71	2.96%	
4	CONVENCIONAL	0%	300	NO ESPECIFICADA	1164.13	1125.23	3.34%	
5	CONVENCIONAL	0%	300	NO ESPECIFICADA	1208.97	1188.10	1.73%	
6	CONVENCIONAL	0%	300	NO ESPECIFICADA	1086.65	1053.66	3.04%	
1	MODIFICADA	1%	300	NO ESPECIFICADA	1202.08	1170.7	2.61%	2.52%
2	MODIFICADA	1%	300	NO ESPECIFICADA	1114.68	1072.8	3.76%	
3	MODIFICADA	1%	300	NO ESPECIFICADA	1145.52	1101.4	2.98%	
4	MODIFICADA	1%	300	NO ESPECIFICADA	1214.49	1192.5	1.81%	
5	MODIFICADA	1%	300	NO ESPECIFICADA	1127.56	1098.64	2.56%	
6	MODIFICADA	1%	300	NO ESPECIFICADA	1322.12	1303.96	1.37%	

Ilustración 65. Gráfico Comparativo de los resultados del ensayo de mezclas bituminosas mediante la pérdida por desgaste – Cántabro de una MAC vs MAM



Los resultados del ensayo de mezclas bituminosas mediante la pérdida por desgaste – Cántabro indican que el desgaste de una MAC y MAM es de 3.31% y 2.52% respectivamente, cumpliendo con las especificaciones establecidas en el MTC E 515, donde indica que el desgaste no deberá ser superior al 25%, al 25 °C y tras ser sometidas las briquetas a un proceso de inmersión durante 24 ha 60°C, no podrá exceder del 40%.

Evaluación Económica

Análisis de Costos Unitarios

Tabla 71. Análisis de precios unitarios de una MAC convencional

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS						
PARTIDA	PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL C/EQUIPO MEZCLA ADQ.					
m ² /DIA	EQ. 1250.00	Costo unitario por: m ²				502.60
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P. Unitario S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
OFICIAL	HH	1.000	0.0064	24.22	0.16	
OPERARIO	HH	2.000	0.0128	19.13	0.24	
PEÓN	HH	1.000	0.0064	17.29	0.11	
				SUBTOTAL	0.51	
Materiales						
ARENA GRUESA	m ³	-	0.5126	49.93	25.34	
GRAVA CHANCADA 1/2	m ³	-	0.4194	59.93	25.13	
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70	gal.	-	16.3018	6.50	105.96	
GASOLINA 84 OCTANOS	gal.	-	6.0600	19.76	119.75	
CEMENTO PORTLAND TIPO I	kg	-	10.000	21.74	217.40	
				SUBTOTAL	493.58	
Maquinarias						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.51	0.03	
GRUPO ELECTRÓGENO 230HP 150 KW	HM	1.000	0.0064	195.77	1.25	
GRUPO ELECTRÓGENO 116HP 75 KW	HM	2.000	0.0128	160.09	2.05	
PLANTA DE ASFALTO DE 60-115 TON/HR	HM	1.000	0.0064	810.00	5.18	
				SUBTOTAL	8.51	

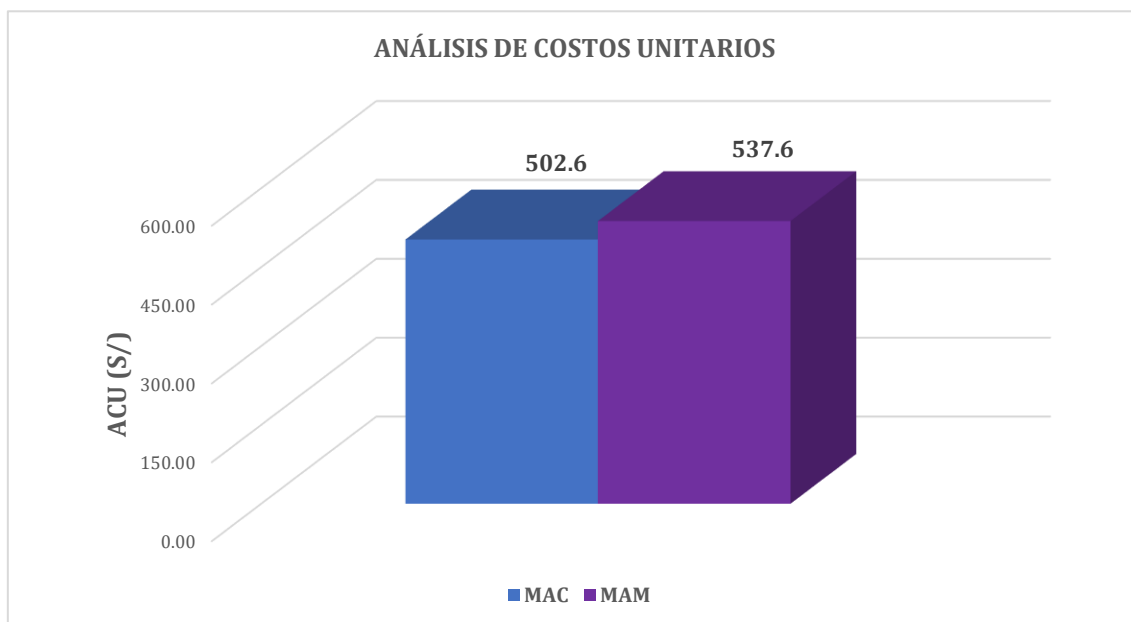
El análisis de costos unitarios de la producción de una MAC convencional indica, un costo total de S/. 502.60 por m², asimismo de S/. 493.58 por m³.

Tabla 72. Análisis de precios unitarios de una MAC modificada

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS						
PARTIDA	PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL C/EQUIPO MEZCLA ADQ.					
m ² /DIA	EQ. 1250.00	Costo unitario por: m ²				537.60
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P. Unitario S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
OFICIAL	HH	1.000	0.0064	24.22	0.16	
OPERARIO	HH	2.000	0.0128	19.13	0.24	
PEÓN	HH	1.000	0.0064	17.29	0.11	
				SUBTOTAL	0.51	
Materiales						
ARENA GRUESA	m ³	-	0.5126	49.93	25.34	
GRAVA CHANCADA 1/2	m ³	-	0.4194	59.93	25.13	
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70	gal.	-	16.3018	6.50	105.96	
GASOLINA 84 OCTANOS	gal.	-	6.0600	19.76	119.75	
CEMENTO PORTLAND TIPO I	kg	-	10.000	21.74	217.40	
ESCAMAS DE PET	kg	-	10.000	3.50	35.00	
				SUBTOTAL	528.58	
Maquinarias						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.51	0.03	
GRUPO ELECTRÓGENO 230HP 150 KW	HM	1.000	0.0064	195.77	1.25	
GRUPO ELECTRÓGENO 116HP 75 KW	HM	2.000	0.0128	160.09	2.05	
PLANTA DE ASFALTO DE 60-115 TON/HR	HM	1.000	0.0064	810.00	5.18	
				SUBTOTAL	8.51	

El análisis de costos unitarios de la producción de una MAC modificada con 1% PET indica, un costo total de S/. 537.60 por m², asimismo de S/. 528.58 por m³.

Ilustración 66. Gráfico Comparativo de los resultados de los análisis de costos unitarios de una MAC vs MAM



Los resultados del análisis de costos unitarios de una MAC y MAM es de S/. 502.60 y S/. 537.60 respectivamente con una variación de S/. 35 correspondiente al costo de las escamas de PET.

Discusión

Según el objetivo general, diseñar una Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC) incorporando plástico reciclado PET para optimizar su desempeño estructural y durabilidad, los resultados obtenidos en las tablas 58 y 59 muestran la dosificación y el peso total para el diseño de Mezcla Asfáltica Modificada - C.A 5.8% + 1% PET respectivamente cumpliendo con los requerimientos establecidos para los parámetros de diseño a excepción del Flujo, datos que al ser comparados con lo estudiado por Alvines [21] quien concluyó que al incorporar PET a una mezcla asfáltica el flujo no cumple con los requerimientos coincidiendo con la presente investigación, asimismo Berrío [15] quien concluyó que obtuvo un contenido óptimo de 1% de PET y 5.3% de cemento asfáltico, estos valores son muy similares a los obtenidos mediante el método Marshall para un tráfico mediano en la presente investigación, por lo que no presentan variaciones significativas. Esto podría deberse a las proporciones utilizadas en la dosificación de la mezcla o a la granulometría. Además, también se observó un incremento en los valores de resistencia a la deformación. Por otro lado, Cruz et al.[11] quien concluyó que los polímeros reciclados ofrecen una mejora del desempeño y un aumento de su durabilidad coincidiendo con la presente investigación luego del desarrollo de los ensayos de laboratorio.

Según el objetivo específico, caracterizar las propiedades físicas y mecánicas del PET, los resultados obtenidos en las tablas 18, 19, 44, 45 y 46 muestran las propiedades del PET para su control de calidad, como el peso específico de 1.135, absorción de 0.02 y densidad 1.513 que al ser comparados con lo estudiado por la Empresa de plásticos Richardson & Lokensgard y la ficha técnica, adquirida por Lork Empresas, la cual cuenta con los datos técnicos del polietileno tereftalato, estos valores cumplen con las especificaciones brindadas para los parámetros de diseño, sin embargo esto podría variar debido al tamaño máximo nominal de las escamas utilizado en la mezcla de 3/8''(9.5 mm). Asimismo, se observó que el polietileno tereftalato posee una temperatura de fusión de 255 °C y una temperatura de servicio de -40 + 10, entre otras las cuales optimizan la resistencia a la deformación respecto a la mezcla asfáltica modificada con 1% de PET.

Según el objetivo específico, estimar la proporción de PET necesaria para diseñar una MAC, los resultados obtenidos en la tabla 60 muestran la comparación de los parámetros de diseño respecto al % de PET incorporado en la mezcla siendo el óptimo el 1% utilizado

en la MAC modificada debido a que los parámetros de diseño para tránsito mediano cumplen excepto el flujo con las especificaciones técnicas según el método de Marshall que al ser comparado con lo estudiado por Berrío [15] quién concluyó que obtuvo un contenido óptimo de 1% de PET para su incorporación a una MAC convencional coincidiendo con la presente investigación con un 5.8% de contenido de asfalto. Por otro lado comparado con lo estudiado por Vásquez [22] quién concluyó que la adición del 1% de PET a las mezclas bituminosas cumplió con los requisitos establecidos para un tránsito mediano, con un porcentaje de asfalto de 5.9%, coincidiendo con la proporción estimada en la presente investigación asimismo con respecto al % C.A se consideró un 5.8%.

Según el objetivo específico, evaluar la estabilidad, fluencia y estabilidad/fluencia de una MAC incorporando plástico reciclado PET, los resultados obtenidos en la tablas 60 al 62 muestran la comparación de los parámetros de diseño respecto al % de PET según el método de Marshall, donde se observa la estabilidad de la MAC convencional presenta 1380 kg y a medida que la proporción de escamas aumenta hasta el 7%, la estabilidad disminuye hasta llegar a 800 kg, con la incorporación del PET al 1% presenta una carga de 1395 kg soportando 15kg más, siendo un 1.087% demostrando un aumento en la estabilidad en comparación con la convencional. Con respecto a la fluencia para la MAC convencional se obtuvo 15(3.81mm) mientras que para la modificada incrementa a 18.2(4.62mm), finalmente para el índice de rigidez (estabilidad/flujo) de la MAC convencional es de 3622.05 kg/cm, a medida que la proporción de escamas aumenta hasta el 7%, la rigidez disminuye hasta llegar a 749.91 kg/cm que al ser comparado con lo estudiado por Corbacho [17] quién concluyó que obtuvo al incorporar el 1.2% de fibras de PET la estabilidad disminuyó en un 9.6% respecto a la MAC convencional. Por otro lado Tueros [18] concluyó que a menor rigidez mejor será el comportamiento frente al ahuellamiento, teniendo en cuenta la MTC E-504, el rango establecido para el parámetro de rigidez se encuentra entre 1700 – 4000 kg/cm. Asimismo, con respecto al flujo de la MAC convencional presentó un valor de 3.3 mm con tendencia a 6.1 mm y para la MAC modificada obtuvo 3.68 mm alterando ligeramente lo obtenido en la presente investigación, esto puede deberse a múltiples factores como la variación de altura del lugar de estudio, del empleo del PEN 60/70, el tipo de tráfico mediano y la proporción de PET añadido de 1%.

Según el objetivo específico, evaluar la resistencia daño por humedad inducida de una MAC incorporando plástico reciclado PET, los resultados obtenidos en la tabla 66 y 67

muestran la susceptibilidad a la humedad inducida mediante el ensayo de Lottman Modificado TRS para una MAC convencional y una modificada con un valor de 83.1% y 93.8% respectivamente, mostrando una variación que correspondería a un incremento del 10.67% con respecto a la convencional que al ser comparado con lo estudiado por Cortez y Mendieta [20] quién concluyó que al obtener un 82.8% de resistencia al daño por humedad inducida de una MAC modificada con 0.5% de PET, estos valores presentan una variación existente con los obtenidos en la presente investigación, esto podría deberse a la proporción del PET utilizada, sin embargo tomando en cuenta lo establecido en la MTC EG-2013 ambas investigaciones cumplen con los requerimientos establecidos de no superar el 80%.

Según el objetivo específico, evaluar la resiliencia por tracción indirecta de una MAC incorporando plástico reciclado PET, los resultados obtenidos en las tablas 68 y 69 muestran el módulo resiliente por tracción indirecta para una MAC convencional y una modificada con un valor de 3021.066 MPa y 4113.691 Mpa respectivamente, mostrando una variación de 1092.625 Mpa que correspondería a un incremento de 36.17% que al ser comparado con lo estudiado por Berrío [15] quién concluyó que al obtener un incremento del 37% del módulo resiliente con respecto a una MAC convencional y una modificada con 1% de PET, estos valores son muy similares a los obtenidos en la presente investigación, por lo que no presentan variaciones significativas.

Según el objetivo específico, evaluar la pérdida de desgaste de una MAC incorporando plástico reciclado PET, los resultados obtenidos en la tabla 70 muestran la pérdida de desgaste de mezclas bituminosas mediante el ensayo de Cántabro presentó un valor de 3.31% para la MAC convencional y de 2.52% para la MAC modificada con 1% de PET, evidenciando una disminución de pérdida de desgaste en un 0.79% con respecto a la convencional que al ser comparado con lo estudiado por Tueros [18] quién concluyó que al obtener un 52.30% y 20.56% de pérdida de desgaste para una MAC convencional y una modificada respectivamente con una disminución de 31.54%, esta última optimiza la durabilidad de la mezcla asfáltica, tomando en cuenta lo establecido en la MTC E-515 no deberá ser mayor al 25% a 25° C, asimismo al compararla con la presente investigación se observa un incremento al incorporar el 1% de PET mostrando mayor durabilidad y duración de la mezcla.

Según el objetivo específico, comparar una MAC adicionando PET con una convencional, los datos obtenidos en la tabla 65 muestran el análisis comparativo de los

parámetros de diseño de MAC vs. MAM donde se observan las variaciones existentes en cada uno de los parámetros según el método de Marshall además de las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas, además en las tablas 66 al 70 muestran las comparaciones entre ambas respecto a su desempeño y durabilidad mediante los ensayos propuestos en la investigación, para Lottman Modificado se determinó un 83.1% de resistencia al daño por humedad inducida de una MAC modificada que al ser comparado con lo estudiado por Cortez y Mendieta [20] obtuvo un 82.8%, asimismo para el Módulo Resiliente un incremento del 36.17% que al ser comparado con lo estudiado por Berrío [15] obtuvo un 37% y para Cántabro una disminución de 0.79% que en comparación con lo estudiado por Tueros [18] obtuvo una de 31.54%. Cumpliendo con las especificaciones técnicas para una MAC-2 clase B para cada uno de los ensayos realizados.

Según el objetivo específico, determinar el costo que implica emplear una MAC que ha sido modificada con PET, los resultados obtenidos en las tablas 71 y 72 muestran los análisis de los costos unitarios para una MAC convencional y una modificada con 1% de PET con un costo total de S/. 502.60 y S/. 537.60 por m² respectivamente, asimismo S/. 493.58 y S/. 528.58 por m³ mostrando una variación de S/. 35 que correspondería a un incremento del 6.96% siendo costo de las escamas del PET que al ser comparado con lo estudiado por Silvestre[19] quién concluyó el costo total de la MAC con la incorporación de PET es mucho más económico en comparación con la mezcla asfáltica convencional. Sin embargo, esto puede llegar a ser contradictorio con la presente investigación, ya que el precio del PET reciclado es variable respecto a su presentación ya sea en escamas, fibra o molido; no obstante, esto podría cambiar con la optimización del procesamiento del polietileno tereftalato. Al mismo tiempo mediante su estudio menciona que a mayor estabilidad mayor resistencia a la deformación permanente. Por otro lado Tueros [18] concluyó mediante su investigación que al desarrollarla en una zona mayor a 3000 m.s.n.m se recomiendan mezclas asfálticas con valores altos de flujo, bajos en rigidez para evitar su deformación y a menor pérdida de desgaste optimiza su comportamiento y durabilidad. Además, se observa una variación significativa de una MAC modificada respecto a una convencional, sin embargo, puede garantizar ventajas técnicas y al mismo tiempo una pequeña variación económica.

CONCLUSIONES

Se diseñó una Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC) incorporando plástico PET para optimizar su desempeño estructural y durabilidad; con un porcentaje óptimo C.A de 5.8% y 1% PET, mediante pruebas realizadas según las normas del MTC EG 2013. Evidenciando un óptimo desempeño estructural por medio del Ensayo de Marshall donde se observaron mejoras significativas respecto a los parámetros de diseño a excepción del Flujo además de un incremento de estabilidad en comparación con una MAC convencional obteniendo 1395kg. Asimismo, el Ensayo de Lottman Modificado con un 93.791% de resistencia al daño por humedad inducida y el Ensayo de Módulo Resiliente con una resiliencia por tracción indirecta 4113.691 Mpa. Finalmente, a través del Ensayo de Cántabro se mostró una menor pérdida de desgaste con un 2.52% respecto a la MAC modificada evidenciando una mayor durabilidad en comparación con la convencional.

Se caracterizó las propiedades físicas y mecánicas del PET, determinando algunas de sus propiedades para su control de calidad, con un tamaño máximo nominal de 3/8" (9.5mm), peso específico de 1.135, absorción de 0.02, densidad 1.513 asimismo no se realizaron ensayos adicionales para determinar otras propiedades ya que fueron proporcionadas de la ficha técnica.

Se estimó la proporción de PET necesaria para diseñar una MAC, utilizando el 1%, 3%, 5%, 7% de tereftalato de polietileno reciclado equivalente a 12gr, 36gr, 60gr y 84gr respectivamente por cada 1200gr de masa total. Mediante el ensayo Marshall determinó los porcentajes de 1% de PET, empleando un 2880 gr y un 3240gr a lo largo de toda la investigación. Asimismo, se observó que al superar el 1% de PET, las propiedades mecánicas cambiaron, disminuyendo la estabilidad y aumentando el flujo. Esto indica que, una vez superado el porcentaje óptimo, la mezcla se vuelve demasiado rígida, haciéndola más frágil y propensa a fallar a esfuerzos menores.

Se evaluó la estabilidad, fluencia y estabilidad/fluencia de una MAC incorporando plástico reciclado PET mediante el ensayo Marshall, donde se observó para la MAC convencional un incremento de la estabilidad a medida que aumentaba el % de C.A, mientras que para la modificada que una tendencia a disminuir respecto a la estabilidad mientras se incrementaba el porcentaje de PET al 7%. Con respecto al ensayo se registró un porcentaje óptimo de C.A de 5.8% para ambas mezclas y 1% de PET, obteniendo para modificada una fluencia 4.62mm estabilidad al 13.68 kN y una relación estabilidad/flujo

(rigidez) de 3895.12 kg/cm cumpliendo con las especificaciones técnicas según el método de Marshall en el MTC EG-2013 donde indica para el flujo un rango de 3-5 mm, para la estabilidad un valor mínimo de 5.44 kN y para la relación estabilidad/flujo un rango entre 1700-4000 kg/cm.

Se evaluó la resistencia al daño por humedad inducida de una MAC incorporando plástico reciclado PET, mediante el ensayo de Lottman Modificado obteniendo para la MAC convencional un 83.121% y para la modificada con 1% de PET un 93.791%, evidenciando una mejora del 10.67% cumpliendo con las especificaciones establecidas en el MTC E 522 – AASHTO T 283, donde indica que el valor mínimo aceptado es de 80% garantizando mayor durabilidad respecto a su vida útil de servicio.

Se evaluó la resiliencia por tracción indirecta de una MAC incorporando plástico reciclado PET, mediante el ensayo de Módulo Resiliente se obtiene un módulo de rigidez luego de haber sido sometida a cargas, donde se observa que ha menores temperaturas mayor rigidez, al mismo tiempo esta disminuye a temperaturas mayores (5°C, 25°C y 40°C). Como resultado obtuvimos un módulo resiliente de 3021.066 Mpa para la MAC convencional y para la modificada con 1% de PET 4113.691 Mpa cumpliendo con las especificaciones establecidas y evidenciando una mejora significativa.

Se evaluó la pérdida de desgaste de una MAC incorporando plástico reciclado PET, obteniendo para la mezcla modificada con 1% de PET mediante el ensayo de Cántabro un 2.52% de desgaste cumpliendo con las especificaciones establecidas en el MTC E 515, donde indica que no deberá ser superior al 25%, al 25 °C.

Se comparó una MAC adicionando PET con una convencional, para una MAC convencional se determinaron los parámetros de diseño según el método de Marshall: peso unitario de 2.26 gr/cm², vacíos de aire de 3.6%, VMA de 15.25%, V.LL.C. A de 77%, flujo de 15(3.81mm), estabilidad de 13.53 Kn, relación polvo/asfalto de 0.99 y relación estabilidad/flujo de 3622.05 kg/cm; además de desempeño obteniendo una resistencia al daño por humedad inducida de 83.121%, un módulo resiliente de 3021.066 Mpa y una pérdida al desgaste de 3.31%. De igual manera para una MAC modificada con 1% de PET se determinaron los parámetros de diseño según el método de Marshall: peso unitario de 2.33 gr/cm², vacíos de aire de 3.5%, VMA de 13.57%, V.LL.C. A de 74%, flujo de 18.1(4.62mm), estabilidad de 13.68 Kn, relación polvo/asfalto de 0.99 y relación estabilidad/flujo de 3895.12 kg/cm; además de desempeño obteniendo una resistencia al

daño por humedad inducida de 93.791%, un módulo resiliente de 4113.691 Mpa y una pérdida al desgaste de 2.52%.

Se determinó el costo que implica emplear una MAC que ha sido modificada con PET con un porcentaje óptimo de 1% es de S/ 537.60 por m², asimismo de S/. 528.58 por m³, mientras que el una convencional es de S/. 502.60 por m², asimismo de S/. 493.58 por m³ equivalente al 6.96% correspondiente únicamente al costo de las escamas de PET.

RECOMENDACIONES

En relación con la caracterización de las propiedades físicas y mecánicas del PET, se recomienda se realice mediante un conjunto completo de ensayos específicos para el PET, así como pruebas de reciclabilidad para evaluar la capacidad del asfalto modificado con PET para ser reciclado sin perder sus propiedades, lo que asegurará su sostenibilidad a largo plazo. Además de una caracterización completa y precisa del PET en mezclas asfálticas en caliente, promoviendo su uso eficiente y sostenible en mezclas asfálticas.

Se recomienda para posteriores investigaciones incorporar menores proporciones del PET de los experimentados en la presente (1%, 3%, 5% y 7%) y mayores de Cemento Portland Tipo I como filler, ya que a menor porcentaje de PET obtuvimos mejores resultados, asimismo permitiría obtener una visión más completa sobre los efectos de la adición del PET, además ofrecería información valiosa para futuras investigaciones y permitiría ajustar los porcentajes de adición según los requisitos y características de una MAC convencional.

Se recomienda para evaluar la estabilidad, la fluencia y la relación estabilidad/fluencia de una MAC que incorpora plástico reciclado PET, se realice una serie de pruebas sistemáticas y controladas para determinar la proporción óptima de PET. Es esencial llevar a cabo ensayos en diferentes condiciones de carga y temperatura para simular el comportamiento real del pavimento en servicio. Además, se sugiere complementar los estudios con análisis de durabilidad a largo plazo y resistencia a la fatiga para asegurar que la incorporación de PET no comprometa otras propiedades críticas del pavimento.

Se recomienda para evaluar la resistencia al daño por humedad inducida complementar la investigación al realizar más ensayos experimentales como el de la Rueda de Hamburgo para determinar la profundidad máxima de deformación permanente. Al mismo tiempo, se sugiere construir tramos de prueba para evaluar directamente el comportamiento y observar la depresión del ahuellamiento. Esto permitirá identificar diferencias entre los resultados de los ensayos de laboratorio y los obtenidos a escala real.

Se recomienda para evaluar el módulo resiliente por tracción indirecta, considerar diversas condiciones climáticas al ser sometidas a mayores variaciones de temperatura ya expuestas en la presente investigación y mediante su deformación horizontal recuperable obtener su módulo de rigidez.

Se recomienda para evaluar su pérdida al desgaste, la adición de aditivos o modificaciones en las proporciones de los agregados y el ligante, para mejorar su resistencia al desgaste, contribuyendo así a la optimización y mejora continua de los pavimentos asfálticos en términos de durabilidad y rendimiento.

Se recomienda para una comparación efectiva y significativa entre una Mezcla Asfáltica Convencional y una Mezcla Asfáltica con PET reciclado, identificar las ventajas y desventajas de cada tipo de mezcla en función de los requisitos específicos y las condiciones ambientales esperadas facilitando la toma de decisiones para proyectos de pavimentación sostenible y de alto rendimiento. Además, analizar las propiedades específicas donde la mezcla con PET muestra mejoras o disminuciones en comparación con la mezcla convencional.

Se recomienda determinar el costo que implica emplear una MAC que ha sido modificada con PET, del mismo modo evaluar el costo de operación y mantenimiento de equipos especiales requeridos para la producción y colocación de la mezcla asfáltica en caliente.

REFERENCIAS

- [1] R. Becerril-Arreola y R. E. Bucklin, «Beverage bottle capacity, packaging efficiency, and the potential for plastic waste reduction», *Sci Rep*, vol. 11, n.º 1, p. 3542, feb. 2021, doi: 10.1038/s41598-021-82983-x.
- [2] G. G. M. Campos, «Abordando la contaminación plástica: análisis y perspectivas del inicio de las negociaciones hacia un acuerdo global vinculante», *Política Internacional*, n.º 131, Art. n.º 131, 2022, doi: 10.61249/pi.vi131.35.
- [3] «El rastro del plástico», *El Comercio*, 2018, Accedido: 24 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2025264133/abstract/BEC1CDC467E14EC3PQ/2>
- [4] «Perú solo recicla aún el 4 % de las 900.000 toneladas de plástico que desecha: PERÚ MEDIOAMBIENTE», *EFE News Service*, EFE News Services, Inc., Madrid, United States, 2020. Accedido: 24 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2348374536/citation/BEC1CDC467E14EC3PQ/1>
- [5] J. M. Navarro Jiménez, «Propuesta de diseño de mezclas asfálticas con adiciones de PET», *Repositorio Institucional - USS*, 2017, Accedido: 26 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/4569>
- [6] «Primer tramo vial pavimentado con plástico reciclado fue inaugurado en el Aeropuerto El Dorado | ¿Cómo se construyó?», *Semana*, 2022, Accedido: 24 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2724826733/citation/C7FFD9201BE747F8PQ/3>
- [7] L. You *et al.*, «Review of recycling waste plastics in asphalt paving materials», *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, vol. 9, n.º 5, pp. 742-764, oct. 2022, doi: 10.1016/j.jtte.2022.07.002.
- [8] L. M. Parra, E. S. Alonso, A. C. Floody, y G. V. Vidal, «Evaluación de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con la incorporación de fibras sintéticas de aramida y polipropileno.», *Infraestructura Vial*, vol. 20, n.º 36, Art. n.º 36, 2018, doi: 10.15517/iv.v20i36.37729.
- [9] S. M. Abtahi, M. Sheikhzadeh, y S. M. Hejazi, «Fiber-reinforced asphalt-concrete – A review», *Construction and Building Materials*, vol. 24, n.º 6, pp. 871-877, jun. 2010, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2009.11.009.
- [10] G. Martínez-Arguelles *et al.*, «Thirteen Years of Continuous Development in Crumb Rubber Modified Asphalt Mixtures in Bogota: Achieving Pavement Sustainability», *Revista ingeniería de construcción*, vol. 33, n.º 1, pp. 41-50, abr. 2018, doi: 10.4067/S0718-50732018000100041.

- [11] N. A. C. Cruz, A. Baldi, E. C. Garita, y J. P. A. Moya, «Evaluación de desempeño de la mezcla asfáltica modificada con residuos de PVC tipo blíster», *Infraestructura Vial*, vol. 23, n.º 42, Art. n.º 42, jul. 2021, doi: 10.15517/iv.v23i42.44688.
- [12] G. Carmona Clavijo *et al.*, «Políticas e intervenciones para reducir lesiones por accidentes de tránsito: de la evidencia a la práctica», *Anales de la Facultad de Medicina*, vol. 79, n.º 3, pp. 244-251, jul. 2018, doi: 10.15381/anales.v79i3.15018.
- [13] M. S. Ahmad y S. A. Ahmad, «The impact of polyethylene terephthalate waste on different bituminous designs», *J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 69, n.º 1, p. 53, jun. 2022, doi: 10.1186/s44147-022-00104-5.
- [14] B. J. O. Marroquín, «MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE ADICIONANDO TEREFTALATO DE POLIETILENO COMO AGREGADO POR EL MÉTODO DE MARSHALL».
- [15] A. Berrío Alzate, «Diseño y evaluación del desempeño de una mezcla asfáltica tipo MSC-19 con incorporación de Tereftalato de Polietileno reciclado como agregado constitutivo», 2017, Accedido: 16 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/63316>
- [16] D. Ramírez López, A. J. Vidal Satízabal, y J. A. Grajales García, «Incorporación de tereftalato de polietileno como agente modificador en el asfalto», 2014, Accedido: 17 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://vitela.javerianacali.edu.co/handle/123456789/1304>
- [17] J. E. Corbacho Chipana, «ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD MARSHALL Y LA DEFORMACIÓN PERMANENTE MEDIANTE EL ENSAYO DE RUEDA CARGADA DE HAMBURGO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA EN CALIENTE CON FIBRAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO EN LA CIUDAD DEL CUSCO-2018», *Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco*, 2019, Accedido: 7 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/3571>
- [18] M. N. Tueros Davila, «Incorporacion de polvo de caucho en mezcla asfaltica convencional para mejorar el comportamiento de la superficie de rodadura frente al ahuellamiento en la Ciudad de Huancayo 2016», *Repositorio Institucional-UPLA*, 2017, Accedido: 17 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/283>
- [19] D. F. Silvestre Velasquez, «Comparación técnica y económica entre las mezclas asfálticas tradicionales y reforzadas con plástico reciclado en la ciudad de Lima-2017», *Universidad César Vallejo*, 2017, Accedido: 17 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/1506>
- [20] D. C. Bernardo Cortez y Y. Y. Mendiguri Mendieta, «Propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica usando polímeros Polietilentereftalato», *Universidad Ricardo Palma*, 2022,

- Accedido: 18 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/5787>
- [21] J. F. Alvinces Arbaiza, «Elaboración de Mezcla Asfáltica Modificada con Botellas Plásticas Recicladas, Aplicando el Método Marshall para Tránsito Pesado», *Repositorio Institucional - USS*, 2023, Accedido: 17 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/11077>
- [22] Y. A. Vasquez Perez, «Desempeño de Mezclas Asfálticas en Caliente con Adición de Polietileno de Tereftalato», *Repositorio Institucional - USS*, 2023, Accedido: 13 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/11068>
- [23] Carlos Kraemer, José María Pardillo, Sandro Rocci, Manuel G. Romana, Víctor Sánchez Blanco, y Miguel Ángel del Val, «INGENIERÍA DE CARRETERAS, VOL. II». Accedido: 12 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/43380215/Ingenier%C3%ADa_de_Carreteras_Vol_II_Carlos_Kraemer_Jos%C3%A9_Mar%C3%ADa_Pardillo_Sandro_Rocci_Manuel_G_Romana_V%C3%ADctor_S%C3%A1nchez_Blanco_Miguel_%C3%81ngel_del_Val
- [24] H. R. Quintana, F. L. Reyes, A. I. Figueroa, É. R. Rodríguez, C. T. Real, y T. E. Montealegre, «Mezclas asfálticas modificadas en Colombia», ene. 2008.
- [25] I. Romero, *Manual de Carreteras - Esp. Tec. Gen. Const. - EG-2013 - (V. Final - Ene13)*. Accedido: 13 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/18023646/Manual_de_Carreteras_Esp_Tec_Gen_Const_EG_2013_V_Final_Ene13_
- [26] M. A. C. Gallegos y G. Flintsch, *CALIDAD DEL CONCRETO ASFALTICO : NUEVOS AVANCES Y DESAFIOS*. Accedido: 14 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://ley.exam-10.com/pravo/10912/index.html>
- [27] J. R. Escalante Zegarra, «EVALUACIÓN DE MEZCLAS PRODUCIDAS CON LIGANTES PLUMA CONVENCIONAL DE ASFALTO PERUANO 60/70 Y POLÍMERO MODIFICADO POR SBS TIPO I 60/60 Y PG 76-22.», Mestrado em Infra-Estrutura de Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. doi: 10.11606/D.18.2007.tde-26042007-173415.
- [28] Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT) de México, *N CMT /06 LIBRO: CMT. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES*. México. Accedido: 15 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://docplayer.es/21041594-N-cmt-4-05-002-06-libro-cmt-caracteristicas-de-los-materiales.html>
- [29] Asphalt Institute, *MS-22 Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfálticas*. Accedido: 29 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dokumen.tips/documents/ms-22-principios-de-construccion-de-pavimentos-de-mezcla-asfalticas.html>

- [30] Dirección General de Carreteras, «PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS GENERALES ART. 542 Y 543 PG-3», Normativa de carreteras. Accedido: 11 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://normativadecarreteras.com/listing/pg%e2%80%a3-articulo-542-mezclas-bituminosas-tipo-hormigon-bituminoso/>
- [31] J. E. Forigua-Orjuela y E. Pedraza-Díaz, «Diseño de mezclas asfálticas modificadas mediante la adición de desperdicios plásticos», 2014, Accedido: 29 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/ad1a541c-a4f1-4084-a5d1-4a85dcbc6096>
- [32] A. M. Fonseca, *Ingeniería de Pavimentos*. Bogotá, D.C, 2002. Accedido: 23 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.slideshare.net/carlonchosuicida/alfonso-montejo-fonseca-ingenieria-de-pavimentos>
- [33] M. D. C. Avellán, «ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS - PDF Descargar libre». Accedido: 29 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://docplayer.es/63191361-Asfaltos-modificados-con-pollmeros.html>
- [34] R. Villegas, J. Aguiar, y L. Loria, «Diseño de mezcla asfáltica con materiales de desecho Hot mix asphalt design with waste materials - PDF Descargar libre», Accedido: 23 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://docplayer.es/82328427-Diseno-de-mezcla-asfaltica-con-materiales-de-desecho-hot-mix-asphalt-design-with-waste-materials.html>
- [35] A. M. Luque León, «Influencia de la incorporación del tereftalato de polietileno en el comportamiento de los parámetros del diseño Marshall del concreto asfáltico – Juliaca, 2018», *Universidad Nacional del Altiplano*, dic. 2019, Accedido: 30 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/13230>
- [36] Dallas N. Little, David R. Jones IV, y T. Aschenbrener, *Chemical and Mechanical Processes of Moisture Damage in Hot-Mix Asphalt Pavements.*, vol. 2003. 2003, p. 20.
- [37] V. R. Estrada Escalante, «Estudio y análisis de desempeño de mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 plus y mezcla asfáltica modificada con polímero tipo SBS PG 70-28".», *Universidad Andina del Cusco*, oct. 2017, Accedido: 3 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/1057>
- [38] S. L. Espinoza Japa, «UTILIZACIÓN DEL PLÁSTICO PET RECICLADO COMO AGREGADO LIGANTE PARA UN DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE HUÁNUCO – 2018», *Universidad Nacional Hermilio Valdizán*, 2019, Accedido: 7 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/4726>
- [39] E. Rojo-Nieto y T. Montoto Martínez, *Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global*. Ecologistas en Acción, 2017.

- Accedido: 28 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://accedacris.ulpgc.es/jspui/handle/10553/56275>
- [40] R. B. Villanueva Maya, «RESISTENCIA AL CORTE DE UN SUELO ARCILLOSO, ADICIONANDO EL 3% DE POLIETILENO TEREFTALATO (PET) A NIVEL DE SUBRASANTE EN EL C.P. RATAQUENUA - HUARAZ - ANCASH.», *Universidad San Pedro*, mar. 2020, Accedido: 7 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/14282>
- [41] L. Vázquez, «El plástico», *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, vol. 23, n.º 1, pp. 76-86, mar. 2003.
- [42] L. Alesmar, N. Rendón, y M. E. Korody, «Diseños de mezcla de tereftalato de polietileno (pet) - cemento», mar. 2008. Accedido: 28 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Dise%C3%B1os-de-mezcla-de-tereftalato-de-poli-etileno-Alesmar-Rend%C3%B3n/01934d6b98fa2cf4228e063d4d8ffbc2dbf80cfa?p2df>
- [43] G. F. Sherwell Betancourt, «Estudio del uso de Polietileno Tereftalato (PET) como material de refuerzo de estructuras térreas conformadas por suelo fino», ene. 2014, Accedido: 28 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/2936>
- [44] A. R. Padilla, «MEZCLAS ASFÁLTICAS», [En línea]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-14.pdf?sequence=14&isAllowed=y>
- [45] Angeles, «Las ventajas y desventajas de los plásticos: alternativas respetuosas con el medio ambiente», *EspacioCiencia.com*. Accedido: 30 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://espaciociencia.com/las-ventajas-y-desventajas-de-los-plasticos/>

ANEXOS

ANEXO N° 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: “INCORPORACIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO PET EN MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA”

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e instrumentos de recolección de datos			
¿La incorporación del plástico reciclado PET logrará influir en el desempeño estructural y durabilidad de las mezclas asfálticas en caliente?	<p>OBJETIVO GENERAL Diseñar una Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC) incorporando plástico reciclado PET para optimizar su desempeño estructural y durabilidad.</p>	<p>La incorporación del plástico reciclado PET a las MAC modificadas influyen en su calidad con respecto a altos estándares de desempeño estructural, brindando una mayor capacidad de durabilidad y resistencia a elevadas temperaturas.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE Incorporación del plástico reciclado PET</p>	-	<p>Proporción de plástico reciclado PET</p>	<p>TÉCNICAS a) Observación directa Las dimensiones de las variables tanto independiente como dependiente tales como la incorporación del PET y mezcla asfáltica en caliente modificada respectivamente, debido a los estudios realizados fueron medidas utilizando métodos de medición directa mediante pruebas de laboratorio sin modificar las características de las subvariables de estudio. b) Fichas técnicas Se utilizaron fichas técnicas para registrar el contenido asfáltico, nivel gradación, cantidad de proporción y de trituración; además recopiló datos importantes sobre la estabilidad, flujo, rigidez y durabilidad. INSTRUMENTOS Los instrumentos empleados en la investigación consistieron principalmente en aquellos requerimientos estandarizados por el MTC para llevar a cabo la ejecución de los ensayos de laboratio.</p>			
	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS O1. Caracterizar las propiedades físicas y mecánicas del PET. O2. Estimar la proporción de PET necesaria para diseñar una MAC. O3. Evaluar la estabilidad, fluencia y estabilidad/fluencia de una MAC incorporando plástico reciclado PET. O4. Evaluar la resistencia daño por humedad inducida de una MAC incorporando plástico reciclado PET. O5. Evaluar la resiliencia por tracción indirecta de una MAC incorporando plástico reciclado PET. O6. Evaluar la pérdida de desgaste de una MAC incorporando plástico reciclado PET. O7. Comparar una MAC adicionando PET con una convencional. O8. Determinar el costo que implica emplear una MAC que ha sido modificada con PET.</p>		<p>VARIABLE DEPENDIENTE Desempeño Estructural y Durabilidad de una MAC</p>		<p>Estabilidad</p>		<p>Fluencia</p>	<p>Estabilidad/Fluencia</p>	<p>Resistencia a la Humedad Inducida</p>
	<p>Desempeño Estructural</p>		<p>Resiliencia por Tracción Indirecta</p>		<p>Durabilidad</p>		<p>Pérdida de Desgaste</p>		

ANEXO N° 2: FICHA TÉCNICA



www.lorkindustrias.com

LORK INDUSTRIAS, S.L.
CARACAS, 11
08030—BARCELONA
Telefono: 93 346 82 12
Fax: 93 311 30 60
Email: lork@lorkindustrias.com

FICHA TÉCNICA

PET

Denominación química

Polietileno Tereftalato

Características técnicas

Densidad		ISO 1183	g/cm ³	1,36
Temperatura de Servicio			C°	- 40 + 110
Temperatura máxima de servicio en periodos breves			C°	≤160
Esfuerzo en el punto de fluencia		ISO 527	MPa	80
Elongación a la rotura		ISO 527	%	20
Modulo de elasticidad a la tensión		ISO 527	Mpa	3200
Resistencia al impacto		ISO 179/leU	kJ/m ²	82
Dureza		ISO 13000-2	Shore D	81
Tiempo limite de rendimiento δ 1/1000	23°C/50%RH 100°C	ISO 899	Mpa	12
Temperatura de distorsión térmica	Método A	ISO 75	C°	67
	Método B	ISO 75	C°	165
Punto de Fusión	Método A	ISO 3146	C°	255
Coefficiente de expansión lineal térmica		DIN 53752	1/K 10 ⁻⁵	6
Constante dieléctrica	1 MHz	IEC 250		3,3
Factor de disipación	1 MHz	IEC 250		0.02
Resistencia dieléctrica		IEC 243	KV/mm	50
Resistividad volumétrica		IEC 243	Ω cm	10 ¹⁶
Absorción de humedad a 23°C, 50% RH		ISO 62	%	-0,23
Absorción de Agua a 23°C		ISO 62	%	- 0.5

ANEXO N° 3: ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO N° 3.1: Caracterización de los agregados



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIENTOS

INFORME N° LEM USAT 018-2024-I

FECHA: 20 de Mayo 2024

VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ESTUDIANTE: Alondra Yacory Angulo López

TITULO DE LA TESIS: Incorporación de plástico reciclado PET en Mezcla Asfáltica Modificada

El que suscribe, responsable del laboratorio de Ingeniería Civil Ambiental, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizados por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:

- Contenido de humedad
- Análisis granulométrico global
- Peso específico y absorción
- Gravedad específica
- Límites de consistencia
- Sales solubles
- Equivalente de arena
- Abrasión de los Ángeles
- Partículas chatas y alargadas
- Caras fracturadas
- Durabilidad al sulfato
- Azul de metileno
- Densidad del PET
- Peso específico y absorción del PET
- Granulometría del PET
- Ensayo de Marshall
- Ensayo de Lottman Modificado
- Ensayo de Módulo Resiliente
- Ensayo de Cántabro

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Responsable Laboratorio USAT



Henry Rivadeneyra Oblitas
 Responsable de Lab Ing. Civil Ambiental



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



TESISTA : Angulo López Alondra Yacory
ESCUELA : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo, 8 de Septiembre del 2023

Ensayo : Contenido de humedad del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Arena Amarilla - Planta de Asfalto, Batangrande

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	2000.00
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	2267.60
C.- Peso de recipiente	(gr.)	280.00
D.- Contenido de humedad	(%)	0.62

Ensayo : Contenido de humedad del agregado grueso

Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Piedra de 1/2" - Planta de Asfalto, Batangrande

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	3000.00
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	3275.80
C.- Peso de recipiente	(gr.)	280.00
D.- Contenido de humedad	(%)	0.14

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.


 Henry
 Rivadeneyra
 Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA



TESISTA : Angulo López Alondra Yacory
ESCUELA : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo, 28 de Septiembre del 2023

Ensayo : SUELOS. Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino.

Referencia : NTP 339,146 - EG - 2000

EXAMEN CUANTITATIVO

Muestra : Arena
Cantera : Planta de Asfalto - Batangrande

I. - DATOS

MUESTRA Nº	1	2	3
ALTURA MAXIMA DEL MATERIAL FINO (cm.)	6.80	6.50	0.00
ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm.)	4.20	4.30	0.00
EQUIVALENTE DE ARENA	66.67 %	61.76 %	66.15 %
EQUIVALENTE DE ARENA (EA)	65 %		
ESPECIFICACION DE ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA MTC E-114 (Ref. EG-2000):			
Mínimo : 60 % Mínimo			

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.


 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



TESISTA : Angulo López Alondra Yacory
ESCUELA : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo, 8 de Septiembre del 2023

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

Cantera : Arena Amarilla - Planta de Asfalto, Batangrande

I.- Datos.

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso del Agua	(g)	1019.22
2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	706.26
3.- Peso del Agua	(g)	312.96
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	704.76
5.- Peso del Frasco	(g)	206.26
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	498.50
7.- Volumen del frasco	(g)	500

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.665
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.673
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.687
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.30

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado grueso

Referencia : Norma ASTM C-127 ó N.T.P. 400.021

Cantera : Piedra de 1/2" - Planta de Asfalto, Batangrande

I.- Datos.

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	3030.40
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	3048.50
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del canastilla	(g)	2770.00
4.- Peso de la canastilla	(g)	880
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	1890

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.616
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.631
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.657
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.60

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

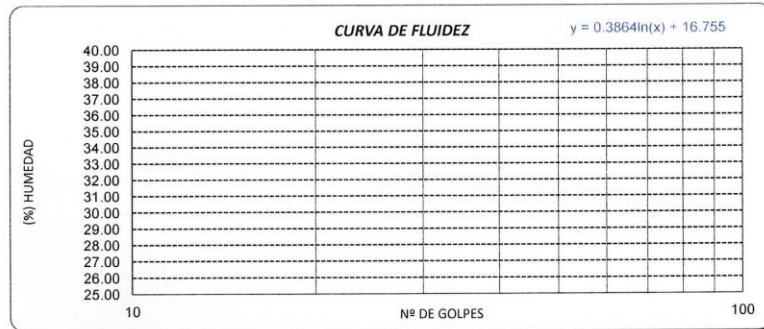


TESISTA : Angulo López Alondra Yacory
ESCUELA : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo 14 de Septiembre del 2023

Ensayo : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo
Referencia : N.T.P. 399.131

Datos de ensayo	Límite líquido				Límite Plástico	
	L-1	L-2	L-3	1	L-4	32
Nº de tarro	35	25	15	15		
Nº de golpes						
Tarro + suelo húmedo	18.15	18.18	18.10	18.10	15.14	15.14
Tarro + suelo seco	16.50	16.53	16.48	16.48	13.95	13.95
Agua	1.65	1.65	1.62	1.62	1.19	1.19
Peso del suelo seco	9.13	9.12	9.11	9.11	6.61	6.61
Porcentaje de humedad	18.07	18.09	17.78	17.78	18.00	18.00
						NP

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA		
Límite Líquido	18.00	12.53 N.P.
Límite Plástico	18.00	N.P. 18.00
Índice de Plasticidad	N.P.	N.P.



OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



TESISTA : Angulo López Alondra Yacory
ESCUELA : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada

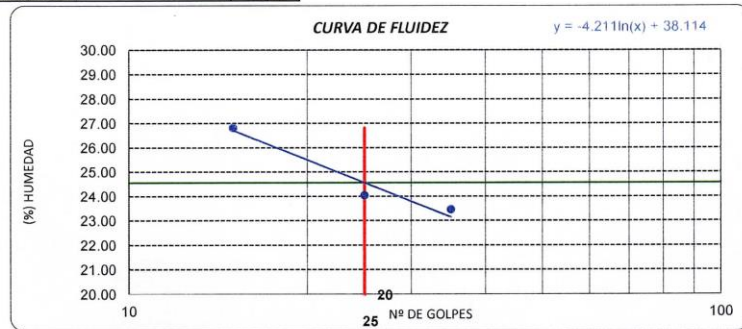
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo 14 de Septiembre del 2023

Ensayo : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo

Referencia : N.T.P. 399.131

Datos de ensayo	Límite líquido				Límite Plástico	
	L-1	L-2	L-3	1	L-4	32
Nº de tarro	35	25	15	15		
Nº de golpes						
Tarro + suelo húmedo	16.91	18.35	16.84	16.84	15.11	15.11
Tarro + suelo seco	15.05	16.22	14.77	14.77	13.7	13.7
Agua	1.86	2.13	2.07	2.07	1.41	1.41
Peso del suelo seco	7.93	8.86	7.72	7.72	6.35	6.35
Porcentaje de humedad	23.46	24.04	26.81	26.81	22.20	22.20
						NP

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	24.56
Límite Plástico	22.20
Índice de Plasticidad	2.35



OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.

Henry
Rivadenebra
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



TESISTA : Angulo López Alondra Yacory
ESCUELA : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo 11 de Septiembre del 2023

Ensayo : Peso específico relativo de sólidos (G_s)-Material que pasa la malla Nº 4
Referencia : NTP 339.131 ASTM D - 854

	Filler
1. Nº de fiola	F-2
2. Peso de la fiola	g. 201.38
3. Peso de la muestra de suelo - seco	g. 500.0
4. Peso de la muestra de suelo seco + peso de l (2+3)	g. 701.4
5. Peso de la muestra + Fiola + agua	g. 1019.2
6. Peso de la fiola + peso de agua	g. 980.3
7. Peso específico relativo de sólidos (G_s) $(3)/((3+6)-5) \text{ g/cm}^3$	1.084

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.



 H. *Henrry*
Rivadeneira
 Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT


 USAT
 LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

 TECNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



TESISTA : Angulo López Alondra Yacory
ESCUELA : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de ensayo : Chiclayo, 25 de Septiembre del 2023

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelos y aguas subterránea.

REFERENCIA : NTP 339.152 / USBR E - 8

Cantera : Planta Asfalto - Batangrande
Muestra : Arena

Constituyentes de sales solubles totales	ppm	40
Constituyentes de sales solubles totales	%	0.004

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.


Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT


USAT
LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

TECNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



TESISTA : Angulo López Alondra Yacory
ESCUELA : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de ensayo : Chiclayo, 25 de Septiembre del 2023

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelos y aguas subterránea.

REFERENCIA : NTP 339.152 / USBR E - 8

Cantera : Planta Asfalto - Batangrande
Muestra : Piedra

Constituyentes de sales solubles totales	ppm	57
Constituyentes de sales solubles totales	%	0.01

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.


 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT


 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



TESISTA : Angulo López Alondra Yacory
ESCUELA : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo, 26 de Septiembre del 2023

ENSAYO : RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 1/2") POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS
REFERENCIA : Norma MTC E 207 / ASTM C-131

Cantera : Planta Asfalto - Batangrande
Muestra : Agregado grueso

% de desgaste por abrasión	%	12.5
% de uniformidad	%	0.2

Requerimiento : 40 % Maximo

OBSERVACIONES :

- Muestras provistas e identificadas por el solicitante.
- Método de ensayo a usar: Gradación "B", N° de esferas : 11, Revoluciones : total 500


Henry Rivadeneyra Oblinas
Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



TESISTA : Angulo López Alondra Yacory
ESCUELA : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo 24 de Octubre del 2023

Ensayo : AGREGADOS. Determinación de la inalterabilidad de agregados por método de sulfato de sodio o sulfato de magnesio
Referencia : NORMA N.T.P. 400.016 ASTM C-88

EXAMEN CUANTITATIVO

Cantera : Planta de Asfalto - Batangrande
Muestra : Arena Gruesa

I.- DATOS

TAMICES		Porcentaje de pérdida pesado
Pasa	Retiene	
3/8"	Nº 4	1.9
9.5 mm	4.75 mm	
Nº 4	Nº 8	2.4
4.75 mm	2.36 mm	
Nº 8	Nº 16	2.2
2.36 mm	1.18 mm	
Nº 16	Nº 30	2.3
1.18 mm	600 µm	
Nº 30	Nº 50	1.9
600 µm	300 µm	
Nº 50	Nº 100	1.9
300 µm	150 µm	

II.- RESULTADO

DESGASTE TOTAL	(%)	15.0
-----------------------	-----	------

OBSEVACIONES :

- La identificación y procedencia de la muestra fue realizada por el solicitante.
- La solución de SULFATO DE MAGNESIO fue usada para el ensayo.
- Los ciclos transcurridos de inicio al final del ensayo son 5.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI : GP 004:1993)


Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec Laboratorio USAT


USAT
LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

TECNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



TESISTA : Angulo López Alondra Yacory
ESCUELA : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo 24 de Octubre del 2023

Ensayo : AGREGADOS. Determinación de la inalterabilidad de agregados por método de sulfato de sodio o sulfato de magnesio
Referencia : NORMA N.T.P. 400.016 ASTM C-88

EXAMEN CUANTITATIVO

Cantera : Planta de Asfalto - Batangrande
Muestra : Piedra Chancada

I.- DATOS

TAMICES		Porcentaje de pérdida pesado
Pasa	Retiene	
2"	1 1/2"	0.0
50 mm	37.5 mm	
1 1/2"	3/4"	7.1
37.5 mm	19 mm	
3/4"	1/2"	3.1
19 mm	12.5 mm	
1/2"	3/8"	2.1
12.5 mm	9.5 mm	
3/8"	Nº 4	
9.5 mm	4.75 mm	

II.- RESULTADO

DESGASTE TOTAL	(%)	12.2
-----------------------	-----	------

OBSEVACIONES :

- La identificación y procedencia de la muestra fue realizada por el solicitante.
- La solución de SULFATO DE MAGNESIO fue usada para el ensayo.
- Los ciclos transcurridos de inicio al final del ensayo son 5.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI : GP 004:1993)

Henny
Rivadeneira
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT

LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
Firma manuscrita
FECHA DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



TESISTA : Angulo López Alondra Yacory
ESCUELA : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de ensayo : Chiclayo 4 de Octubre del 2023

AZUL DE METILENO
 (NORMA: AASHTO TP 57)

REFERENCIA DE LA MUESTRA

Cantera : Planta Asfalto - Batangrande

MUESTRA M-01

APLICACIÓN : ASFALTO

MUESTRA	Azul de Metileno	Cantidad de Solución NÚMERO	Peso del Material Fino(N° 200)	Resultado	Especificación EG -213	
					Mín.	Máx.
AGREGADO FINO pasa 200	Cada 0.5 ml	6.0	5.0	1.2	-	8

RESULTADOS PROMEDIOS : 1.2

FORMULA DE APLICACIÓN

$$AM = C_{sol} / P_{finos}$$


 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Angulo López Alondra Yacory
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de ensayo : Chiclayo, 6 de Octubre del 2023
Ensayo : Índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras
Referencia : Norma MTC E 221
Cantera : Planta Asfalto - Batangrande
Muestra : Grava Chaucada 1/2"

METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO

A.- CON UNA CARA FRACTURADA.

TAMIZ		PESO MÍNIMO REQUERIDO	PESO MUESTRA A	PESO MATERIAL CON UNA CARA FRACT. B	PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADA C = ((B/A)*100)	PORCENTAJE RET. GRADACIÓN ORIGINAL D	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS E = C * D
PASA	RETENE						
2"	1 1/2"	---	---	---	---	---	---
1 1/2"	1"	---	---	---	---	---	---
1"	3/4"	---	---	---	---	---	---
3/4"	1/2"	1200.0 g.	1200.0	1050.0	87.5 %	24.0 %	21.0 %
1/2"	3/8"	300.0 g.	300.0	277.0	92.3 %	6.0 %	5.5 %
TOTAL.		1500.0 g.	1500.0 g.	1327.0 g.		30.0 %	26.5 %

PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA = 88.5%

B.- CON DOS CARAS FRACTURADAS.

TAMIZ		PESO MÍNIMO REQUERIDO	PESO MUESTRA A	PESO MATERIAL CON DOS CARAS FRACT. B	PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADA C = ((B/A)*100)	PORCENTAJE RET. GRADACIÓN ORIGINAL D	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS E = C * D
PASA	RETENE						
2"	1 1/2"	---	---	---	---	---	---
1 1/2"	1"	---	---	---	---	---	---
1"	3/4"	---	---	---	---	---	---
3/4"	1/2"	1200.0 g.	1200.0	894.0	74.5 %	24.0%	17.88%
1/2"	3/8"	300.0 g.	300.0	258.3	86.1 %	6.0%	5.16600%
TOTAL.		1500.0 g.	1500.0 g.	1152.3 g.		30.0%	23.0 %

PORCENTAJE CON DOS CARAS FRACTURADAS = 76.8%

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT





Tesista : Angulo López Alondra Yacory
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha de ensayo : Chiclayo, 6 de Octubre del 2023
Ensayo : Índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras
Referencia : Norma MTC E 221
Cantera : Planta Asfalto - Batangrande
Muestra : Grava Chancada 1/2"

INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS

PESO MUEST. SECA : 2500.0 g.

TAMIZ		PESO MÍN. PARA SUBDIVISIÓN	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE RET. ACUMULADO	% QUE PASA
Pulg.	Mm.					
2 1/2"	63.000	---	---	---	---	---
2"	50.000	50 kg.	---	---	---	---
1 1/2"	37.500	35 kg.	---	---	---	---
1"	25.000	15 kg.	---	---	---	100.0
3/4"	19.000	5 kg.	---	---	---	59.4
1/2"	12.500	2 kg.	1015.5	40.6	40.6	22.0
3/8"	9.500	1 kg.	934.3	37.4	78.0	5.3
1/4"	6.300	0.5 kg.	417.0	16.7	94.7	1.2
Nº 04	4.750	---	102.8	4.1	98.8	0.0
FONDO	---	---	28.8	1.2	100.0	0.0

TAMIZ		AGREGADO GRUESO			CHATAS			ALARGADAS		
Pulg.	Mm.	PESO RET.	% RET.	% PASA	PESO RET.	% RET.	% PASA	PESO RET.	% RET.	% PASA
2 1/2"	63.000	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2"	50.000	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1 1/2"	37.500	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1"	25.000	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3/4"	19.000	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1/2"	12.500	1015.5	40.6	59.4	48.66	4.8 %	2.1 %	48.86	4.8 %	2.1 %
3/8"	9.500	934.3	37.4	22.0	26.07	2.8 %	1.1 %	42.78	4.6 %	1.8 %
1/4"	6.300	417.0	16.7	5.3	8.08	1.9 %	0.3 %	26.31	6.3 %	1.1 %
Menor 1/4"	---	---	5.3	1.2	---	---	---	---	---	---
TOTAL	---	2366.8 g.	100.0 %	0.0	82.8 g.	9.5%	3.5%	118.0 g.	15.7%	5.0%

Nota: Las fracciones del agregado cuyo peso sea inferior al 10% de la muestra no se ensayaron.

PESO TOTAL DE LA MUESTRA =	2366.8 g.
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS =	8.5 %


Henry Rivadeneyra Obilinas
Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



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

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

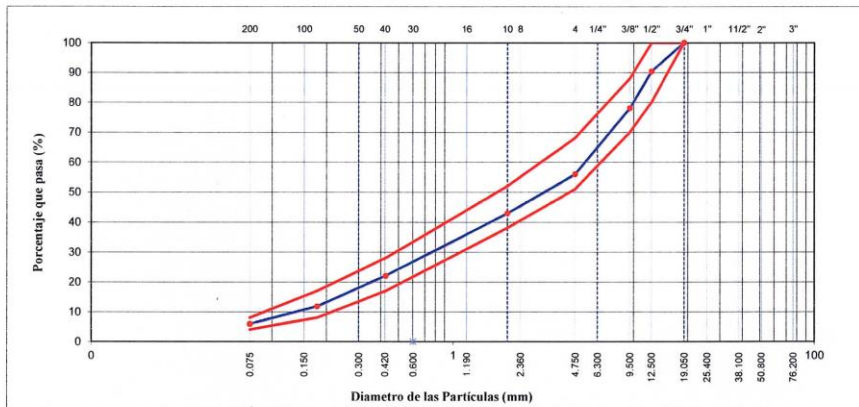
DATOS DE DISEÑO

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

TAMAÑO MAXIMO : 1/2"
 Peso inicial seco : 6000 g

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200					MAC - 2	
3/4"	19.000				100.0	100	
1/2"	12.500	582	9.7	9.7	90.3	80 100	
3/8"	9.500	738	12.3	22.0	78.0	70 88	
Nº 4	4.750	1326	22.1	44.1	55.9	51 68	
Nº 10	2.000	782.0	13.0	57.1	42.9	38 52	Observación:
Nº 40	0.425	1251.5	20.9	78.0	22.0	17 28	
Nº 80	0.177	616.2	10.3	88.3	11.7	8 17	
Nº 200	0.075	351.6	5.9	94.1	5.9	4 8	
< Nº 200	FONDO	352.8	5.9	100.0			

CURVA GRANULOMETRICA



Henry Rivadeneira Oblitas
 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE ENSAYOS DE CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
 TÉCNICO DE LABORATORIO

ANEXO N° 3.2: Diseño de MAC según el método Marshall



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1425	
Peso de C.A	60	4.00%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	42.34
B Arena	54.90	52.70
C Filler	1	0.96

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

	#	1	2	3	Prom.
1 Número de briqueta					
2 C.A. en peso de la mezcla	%	4.0	4.0	4.0	
3 % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	42.34	42.34	42.34	
4 % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	52.70	52.70	52.70	
5 % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.96	0.96	0.96	
6 Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7 Peso específico Bulk de la grava (-#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8 Peso específico Aparente de la grava (-#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9 Peso específico Bulk de la arena(-#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10 Peso específico Aparente de la arena(-#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11 Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
12 Altura promedio de la briqueta	cm.	7.1	6.5	6.6	
13 Peso de la briqueta en el aire	gr.	1162.62	1113.99	1129.66	
14 Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1170	1120	1140.0	
15 Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	640	610	620	
16 Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	530	510	520	
17 Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.194	2.184	2.172	2.183
18 Peso específico teórico máximo (Rico) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.249	2.249	2.249	
19 Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3/2(7+8)) + (4/2(9+10)))$	gr/cc.	2.403	2.403	2.403	
20 % de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	2.44	2.86	3.39	2.89
21 Peso específico Bulk del Agregado Total $(100-2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
22 Peso específico Aparente del agregado total $(100-21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.602	2.602	2.602	
23 Peso específico efectivo del agregado total $(3-4) / ((3/7-8) + (4/9-10))$	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	
24 Asfalto absorbido por el agregado total $100-6(23-21) / (23*21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.57	0.57	0.57	
25 % del vol.del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4) * 17/21$	%	83.28	82.93	82.48	
26 % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100-(25+20)$	%	14.28	14.22	14.14	
27 % vacíos del agregado mineral 100-25	%	16.72	17.07	17.52	17.11
28 Asfalto efectivo peso de la mezcla $2 - (2/100) * (3-4)$	%	3.46	3.46	3.46	
29 Relación betún vacíos $(26-27) * 100$	%	85.39	83.27	80.68	83.11
30 Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1370	1040	1290	
31 Factor de estabilidad	kg	0.96	1.00	1.00	
32 Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	1370	1040	1290	1233
33 Lectura del flexímetro $(0.01 *) (35 / 0.254)$	pul.	15	13	16	15
34 Fluencia	m.m.	3.81	3.30	4.06	
35 Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3596	3150	3184	3307

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACIÓN DE CONCRETO ASFÁLTICO
MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1417.5	
Peso de C.A	67.5	4.5%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	42.11
B Arena	54.90	52.43
C Filler	1	0.96

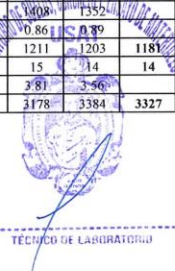
Mezcla	
Especificaciones IVB	

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

1	Número de briqueña	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.5	4.5	4.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	42.11	42.11	42.11	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	52.43	52.43	52.43	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.96	0.96	0.96	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (-#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (-#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena(- #4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena(- #4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
12	Altura promedio de la briqueña	cm.	6.7	7.0	6.7	
13	Peso de la briqueña en el aire	gr.	1232.15	1248.51	1209.05	
14	Peso de la briqueña saturada superficialmente seca	gr.	1240	1260	1220.0	
15	Peso de la briqueña en el agua	gr.	680	690	670	
16	Volumen de la briqueña	c.c.	560	570	550	
17	Peso unitario de la briqueña 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.200	2.190	2.198	2.196
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.254	2.254	2.254	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2.6) + (3 * 2) + (7 * 8) + (4 * 2) + (9 * 10))$	gr/cc.	2.386	2.386	2.386	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	2.38	2.82	2.47	2.56
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3 * 7) + (4 * 9) + (5 * 11))$	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3 * 8) + (4 * 10) + (5 * 11))$	gr/cc.	2.616	2.616	2.616	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3 * P - 8) + (4 * P - 10))$	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.57	0.57	0.57	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueña $(3 + 4) * 17/21$	%	83.10	82.72	83.02	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueña $100 - (25 + 20)$	%	14.52	14.46	14.51	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	16.90	17.28	16.98	17.05
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4)$	%	3.96	3.96	3.96	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	85.91	83.67	85.45	85.01
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1313	1408	1352	
31	Factor de estabilidad	0.86	0.86	0.89		
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	1129	1211	1203	1181
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	13	15	14	14
34	Fluencia	m.m.	3.30	3.81	3.56	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3420	3178	3384	3327



Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



TECNICO DE LABORATORIO



DOSIFICACIÓN DE CONCRETO ASFÁLTICO
 MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1410
Peso de C.A	75 5.0%
Peso del Cemento	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	41.89
B Arena	54.90	52.16
C Filler	1	0.95

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla
Especificaciones IVB

1	Número de briquea	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.0	5.0	5.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	41.89	41.89	41.89	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	52.16	52.16	52.16	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.00	0.00	0.00	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (-#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (-#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena (-#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena (-#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
12	Altura promedio de la briquea	cm.	6.9	6.8	6.2	
13	Peso de la briquea en el aire	gr.	1228.87	1210.99	1127.18	
14	Peso de la briquea saturada superficialmente seca	gr.	1240	1220	1140.0	
15	Peso de la briquea en el agua	gr.	680.0	670	640.0	
16	Volumen de la briquea 14-15	c.c.	560.0	550	500.0	
17	Peso unitario de la briquea 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.194	2.202	2.254	2.217
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.301	2.301	2.301	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2.6) + (3 * 2 / (7 + 8)) + (4 * 2 / (9 + 10)))$	gr/cc.	2.406	2.406	2.406	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17 / 18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	4.65	4.32	2.04	3.67
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3 * 7) + (4 * 9) + (5 * 11))$	gr/cc.	2.547	2.547	2.547	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2) / ((3 * 8) + (4 * 10) + (5 * 11))$	gr/cc.	2.582	2.582	2.582	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3 * P - 8) + (4 * P - 10))$	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.27	0.27	0.27	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briquea $(3 + 4) * 17 / 21$	%	81.02	81.30	83.24	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briquea $100 - (25 * 20)$	%	14.33	14.38	14.72	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	18.98	18.70	16.76	18.15
28	Asfalto efectivo - peso de la mezcla $2 - (24 / 100) * (3 + 4)$	%	4.74	4.74	4.74	
29	Relación entre vacíos $(26 - 27) * 100$	%	75.52	76.88	87.83	80.07
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1428	1315	1333	
31	Factor de estabilidad		0.86	0.89	1.04	
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	1228	1170	1386	1262
33	Lectura del flexímetro $(0.01") (35 / 0.254)$	pul.	12	14	14	14
34	Fluencia	m.m.	3.05	3.56	3.81	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	4029	3291	3639	3653

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACIÓN DE CONCRETO ASFÁLTICO
MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1402.5
Peso de C.A	82.5
Peso del Cemento	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

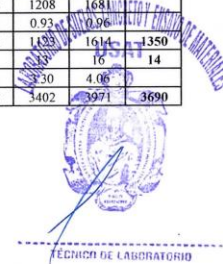
Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	41.67
B Arena	54.90	51.88
C Filler	1	0.95

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

1	Número de briketa	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.5	5.5	5.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	41.67	41.67	41.67	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	51.88	51.88	51.88	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.95	0.95	0.95	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (-#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (-#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena(- #4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena(- #4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
12	Altura promedio de la briketa	cm.	6.7	7.0	6.8	
13	Peso de la briketa en el aire	gr.	1199.08	1180.15	1208.11	
14	Peso de la briketa saturada superficialmente seca	gr.	1210	1190	1220.0	
15	Peso de la briketa en el agua	gr.	680	650	690	
16	Volumen de la briketa	c.c.	530	540	530	
17	Peso unitario de la briketa 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.262	2.185	2.279	2.242
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.345	2.345	2.345	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3/2)(7+8) + (4/2)(9+10))$	gr/cc.	2.353	2.353	2.353	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	3.53	6.81	2.80	4.38
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100-2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100-21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.563	2.563	2.563	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P-8) + (4/P-10))$	gr/cc.	2.546	2.546	2.546	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23-21) / (23*21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.27	0.27	0.27	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briketa $(3+4) * 17/21$	%	84.55	81.67	85.19	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briketa $100 - (25+20)$	%	11.92	11.51	12.01	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	15.45	18.33	14.81	16.20
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	5.25	5.25	5.25	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	77.15	62.83	81.07	73.68
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1369	1208	1681	
31	Factor de estabilidad		0.96	0.93	0.96	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	1314	1133	1614	1350
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	mil.	14	16	14	
34	Fluencia	m.m.	3.56	3.30	4.06	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3696	3402	3971	3690

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACIÓN DE CONCRETO ASFÁLTICO
MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T-245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1395
Peso de C.A	90
Peso del Cemento	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	41.45
B Arena	54.90	51.61
C Filler	1	0.94

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

1	Número de briquea	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6.0	6.0	6.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	41.45	41.45	41.45	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	51.61	51.61	51.61	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.94	0.94	0.94	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (-#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (-#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena(- #4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena(- #4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
12	Altura promedio de la briquea	cm.	6.8	6.9	6.5	
13	Peso de la briquea en el aire	gr.	1216.19	1239.66	1179.65	
14	Peso de la briquea saturada superficialmente seca	gr.	1220	1240	1180	
15	Peso de la briquea en el agua	gr.	690	690	650	
16	Volumen de la briquea	c.c.	530	550	530	
17	Peso unitario de la briquea	gr/cc.	2.295	2.254	2.226	2.258
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.307	2.307	2.307	
19	Máxima densidad teórica de los agregados	gr/cc.	2.337	2.337	2.337	
20	% de vacíos con aire	%	0.52	2.28	3.51	2.10
21	Peso específico Bulk del Agregado Total	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
22	Peso específico Aparente del agregado total	gr/cc.	2.563	2.563	2.563	
23	Peso específico efectivo del agregado total	gr/cc.	2.546	2.546	2.546	
24	Asfalto absorbido por el agregado total	%	0.27	0.27	0.27	
25	% del vol.del Agregado / Volumen Bruto de la briquea	%	85.30	83.79	82.74	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briquea	%	14.18	13.93	13.75	
27	% vacíos del agregado mineral	%	14.70	16.21	17.26	16.06
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla	%	5.75	5.75	5.75	
29	Relación betún vacíos	%	96.48	85.91	79.69	87.36
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1421	1411	1420	
31	Factor de estabilidad		0.96	0.89	0.96	
32	Estabilidad corregida	kg	1368	1256	1555	1392
33	Lectura del flexímetro	pul.	16	15	15	15
34	Fluencia	m.m.	4.06	3.81	3.81	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3357	3296	4082	3578



Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada

MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena

CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande

TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

PORCENTAJE DE ASFALTO	4%	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	724	724	724	724	724
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2550	2550	2550	2550	2550
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	1883	1885	1898	1910	1900
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3382.9	3384.5	3398.2	3410.4	3399.7
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	667	666	652	640	650
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.249	2.254	2.301	2.345	2.307


Henry
Rivadeneyra
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT



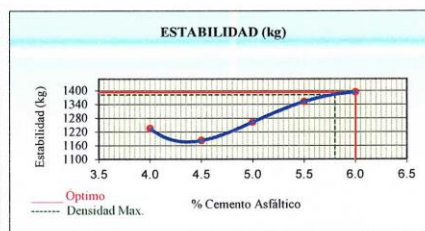
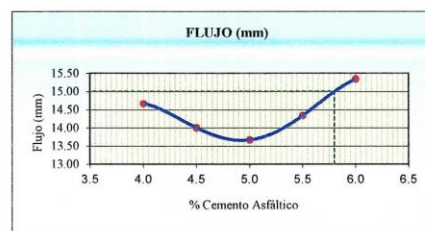
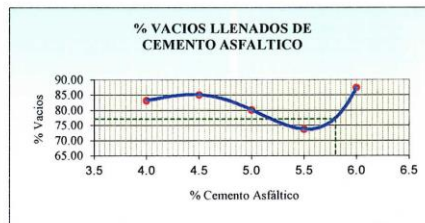
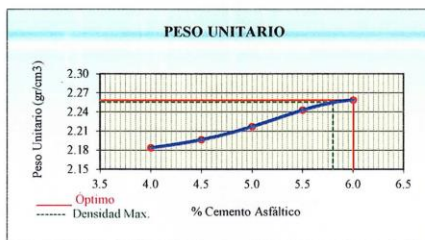


UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL DISEÑO ASFÁLTICO
 MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
TESISTA : Angulo López Alondra Yacory



RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.8
Peso Unitario (gr/cm2)	2.255
Vacios (%)	3.60
Vacios del Agregado mineral (%)	15.25
Vacios Llenados de C.A (%)	77.00
Flujo (mm)	3.81
Estabilidad (Kg)	1380
Relación Polvo Asfalto	0.99



Henry Rivadeneyra
 Tec. Laboratorio
 USAT



Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso Unitario, Vacíos al aire y Estabilidad

TÉCNICO DE LABORATORIO



ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLA

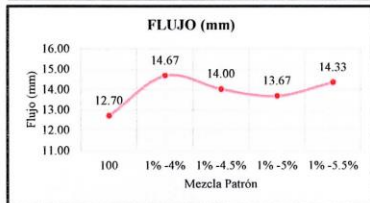
DESCRIPCIÓN : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada

MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena

CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande

TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

RESULTADOS								
Relación Pen-Filler	Peso Unitario (gr/cm ³)	Vacios (%)	Vacios del agregado Mineral (%)	Vacios Llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo
100	2.28	4.50	22.00	68.00	12.70	1755.68	1.23	1809.22
1% -4%	2.18	2.89	17.11	83.11	14.67	1233.33	1.23	3306.54
1% -4.5%	2.20	2.56	17.05	85.01	14.00	1181.11	1.23	3327.22
1% -5%	2.22	3.67	18.15	80.07	13.67	1261.58	1.23	3652.99
1% -5.5%	2.24	4.38	16.20	73.68	14.33	1350.48	1.23	3689.67
1% -6%	2.26	2.10	16.06	87.36	15.33	1391.72	1.23	3578.21



Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE ENSAYOS DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
UNIVERSIDAD CATOLICA
SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
TECNICO DE LABORATORIO

**ANEXO N° 3.3: Diseño de MAC + 1% según el
método Marshall**



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACIÓN DE CONCRETO ASFÁLTICO
 MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T - 245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
 MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
 CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
 TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1425
Peso de C.A	60 -4.00%
Peso del Cemento	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	42.34
B Arena	54.90	52.70
C Filler	1	0.96

% Que Pasa el Tamiz						
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17
						4 - 8

	#	1	2	3	Prom.
1 Número de briqueta		4.0	4.0	4.0	
2 C.A. en peso de la mezcla	%	42.34	42.34	42.34	
3 % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	52.70	52.70	52.70	
4 % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	0.96	0.96	0.96	
5 % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	1.023	1.023	1.023	
6 Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
7 Peso específico Bulk de la grava (-#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
8 Peso específico Aparente de la grava (-#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
9 Peso específico Bulk de la arena(- #4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
10 Peso específico Aparente de la arena(- #4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
11 Peso específico aparente del filler	gr/cc.	7.1	6.6	7.3	
12 Altura promedio de la briqueta	cm.	1200.00	1190.00	1190.00	
13 Peso de la briqueta en el aire	gr.	1200.90	1197.80	1191.70	
14 Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	690	680	671	
15 Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	511	518	521	
16 Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	2.349	2.298	2.285	2.310
17 Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.443	2.443	2.443	
18 Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.403	2.403	2.403	
19 Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2.6)+(3*2(7+8)+(4*2(9+10)))	%	3.84	5.91	6.47	5.41
20 % de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
21 Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3.7)+(4.9)+(5.11))	gr/cc.	2.563	2.563	2.563	
22 Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/((3.8)+(4.10)+(5.11))	gr/cc.	2.546	2.546	2.546	
23 Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/(3+P-8)+(4+P-10)	%	0.27	0.27	0.27	
24 Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	89.17	87.25	86.73	
25 % del vol.del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta (3+4)*17/21	%	6.99	6.84	6.80	
26 % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta 100-(25+20)	%	10.83	12.75	13.27	12.28
27 % vacíos del agregado mineral 100-25	%	3.74	3.74	3.74	
28 Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2-(24/100)*(3+4)	%	64.54	53.63	51.23	56.46
29 Relación betún vacíos (26/27)*100	kg	1210	1315	1240	
30 Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1.00	1.00	1.00	
31 Factor de estabilidad	kg	1210	1315	1240	1255
32 Estabilidad corregida 31*32	pul.	18	15	20	18
33 Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	m.m.	4.57	3.81	5.08	
34 Fluencia	m.m.	2647	3451	2441	2846
35 Relación Estabilidad / Fluencia					

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACIÓN DE CONCRETO ASFÁLTICO
 MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
 MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
 CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
 TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1417.5
Peso de C.A	67.5 4.5%
Peso del Cemento	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

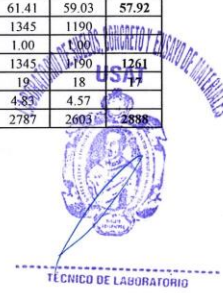
Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	42.11
B Arena	54.90	52.43
C Filler	1	0.96

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla
Especificaciones IVB

	#	1	2	3	Prom.
1 Número de briqueta					
2 C.A. en peso de la mezcla	%	4.5	4.5	4.5	
3 % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	42.11	42.11	42.11	
4 % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	52.43	52.43	52.43	
5 % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.96	0.96	0.96	
6 Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7 Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8 Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9 Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10 Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11 Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
12 Altura promedio de la briqueta	cm.	7.3	6.7	7.3	
13 Peso de la briqueta en el aire	gr.	1190.00	1190.00	1200.00	
14 Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1199.50	1192.40	1201.40	
15 Peso de la briqueta en el agua	gr.	675	678	680	
16 Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	525	515	522	
17 Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.268	2.312	2.300	2.293
18 Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.431	2.431	2.431	
19 Máxima densidad teórica de los agregados $100 \frac{(2.6) + (3 \cdot 2)(7 + 8) + (4 \cdot 2)(9 + 10)}{(1 - 17/18)}$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	gr/cc.	2.386	2.386	2.386	
20 % de vacíos con aire $100 \frac{(1 - 17/18)}{(1 - 17/18)}$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	6.70	4.90	5.38	5.66
21 Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) \frac{(3.7) + (4.9) + (5.11)}{(3.7) + (4.9) + (5.11)}$	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
22 Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2) \frac{(3.8) + (4.10) + (5.11)}{(3.8) + (4.10) + (5.11)}$	gr/cc.	2.563	2.563	2.563	
23 Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) \frac{(3 \cdot P - 8) + (4 \cdot P - 10)}{(3 \cdot P - 8) + (4 \cdot P - 10)}$	gr/cc.	2.546	2.546	2.546	
24 Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) \frac{(23 \cdot 21)}{(23 \cdot 21)}$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.27	0.27	0.27	
25 % del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3 + 4) \cdot 17/21$	%	85.65	87.30	86.86	
26 % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25 + 20)$	%	7.65	7.80	7.76	
27 % vacíos del agregado mineral 100-25	%	14.35	12.70	13.14	13.40
28 Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) \cdot (3 + 4)$	%	4.24	4.24	4.24	
29 Relación betún vacíos $(26/27) \cdot 100$	%	53.32	61.41	59.03	57.92
30 Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1300	1345	1190	
31 Factor de estabilidad		0.96	1.00	1.00	
32 Estabilidad corregida $31 \cdot 32$	kg	1248	1345	1190	1261
33 Lectura del flexímetro (0.01") (35 - 0.254)	pul.	15	19	18	17
34 Fluencia	m.m.	3.81	4.83	4.57	
35 Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3276	2787	2603	2888

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACIÓN DE CONCRETO ASFÁLTICO
 MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
 MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
 CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
 TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1410
Peso de C.A	75 5,0%
Peso del Cemento	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

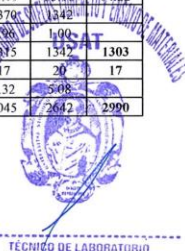
Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	41.89
B Arena	54.90	52.16
C Filler	1	0.95

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla
Especificaciones IVB

	#	1	2	3	Prom.
1 Número de briquea					
2 C.A. en peso de la mezcla	%	5.0	5.0	5.0	
3 % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	41.89	41.89	41.89	
4 % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	52.16	52.16	52.16	
5 % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.95	0.95	0.95	
6 Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7 Peso específico Bulk de la grava (-#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8 Peso específico Aparente de la grava (-#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9 Peso específico Bulk de la arena(-#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10 Peso específico Aparente de la arena(-#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11 Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
12 Altura promedio de la briquea	cm.	6.7	6.5	6.9	
13 Peso de la briquea en el aire	gr.	1200.00	1200.00	1200.00	
14 Peso de la briquea saturada superficialmente seca	gr.	1203.80	1201.80	1206.50	
15 Peso de la briquea en el agua 25 °C	gr.	686	678	684	
16 Volumen de la briquea 14-15	c.c.	517.3	523.67	522	
17 Peso unitario de la briquea 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.320	2.292	2.299	2.303
18 Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.420	2.420	2.420	
19 Máxima densidad teórica de los agregados $100 \cdot ((2/6) + (3 \cdot 2 / (7 + 8)) + (4 \cdot 2 / (9 + 10)))$	gr/cc.	2.369	2.369	2.369	
20 % de vacíos con aire $100 \cdot (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	4.15	5.31	5.02	4.83
21 Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) \cdot ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
22 Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2) \cdot ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.563	2.563	2.563	
23 Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) \cdot ((3 \cdot P - 8) + (4 \cdot P - 10))$	gr/cc.	2.546	2.546	2.546	
24 Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 + 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.27	0.27	0.27	
25 % del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briquea $(3 + 4) \cdot 17/21$	%	87.15	86.09	86.35	
26 % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briquea $100 - (25 + 20)$	%	8.70	8.60	8.62	
27 % vacíos del agregado mineral 100-25	%	12.85	13.91	13.65	13.47
28 Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) \cdot (3 + 4)$	%	4.74	4.74	4.74	
29 Relación betún vacíos $(26/27) \cdot 100$	%	67.69	61.79	63.18	64.22
30 Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1251	1370	1342	
31 Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00	
32 Estabilidad corregida 31*32	kg	1251	1375	1342	1303
33 Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	mil.	15	17	20	17
34 Fluencia	m.m.	3.81	4.32	5.08	
35 Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3283	3045	2642	2990

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo





DOSIFICACIÓN DE CONCRETO ASFÁLTICO
 MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
 MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
 CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
 TESISISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1402.5	
Peso de C.A	82.5	5.8%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

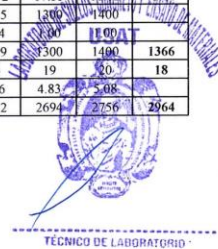
Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	41.67
B Arena	54.90	51.88
C Filler	1	0.95

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla
Especificaciones IVB

	#	1	2	3	Prom.
1 Número de briquea					
2 C.A. en peso de la mezcla	%	5.5	5.5	5.5	
3 % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor ±4)	%	41.67	41.67	41.67	
4 % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor ±4)	%	51.88	51.88	51.88	
5 % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla ±200)	%	0.95	0.95	0.95	
6 Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7 Peso específico Bulk de la grava (-#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8 Peso específico Aparente de la grava (-#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9 Peso específico Bulk de la arena(-#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10 Peso específico Aparente de la arena(-#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11 Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
12 Altura promedio de la briquea	cm.	6.4	6.2	7.3	
13 Peso de la briquea en el aire	gr.	1187.00	1181.00	1178.00	
14 Peso de la briquea saturada superficialmente seca	gr.	1192.60	1187.60	1189.30	
15 Peso de la briquea en el agua 25 °C	gr.	690	675	679	
16 Volumen de la briquea 14-15	c.c.	503	513	510	
17 Peso unitario de la briquea 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.362	2.304	2.310	2.325
18 Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.414	2.414	2.414	
19 Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2.6) + (3 \cdot 2(7-8)) + (4 \cdot 2(9-10)))$	gr/cc.	2.353	2.353	2.353	
20 % de vacíos con aire $100 \cdot (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	2.15	4.54	4.29	3.66
21 Peso específico Bulk del Agregado Total $(100-2) / ((3.7) + (4.9) + (5.11))$	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
22 Peso específico Aparente del agregado total $(100-21) / ((3.8) + (4.10) + (5.11))$	gr/cc.	2.563	2.563	2.563	
23 Peso específico efectivo del agregado total $(3 \cdot 4) / ((3 \cdot P - 8) + (4 \cdot P - 10))$	gr/cc.	2.546	2.546	2.546	
24 Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23-21) / (23 \cdot 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.27	0.27	0.27	
25 % del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briquea $(3 \cdot 4) \cdot 17.21$	%	88.26	86.10	86.33	
26 % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briquea $100 - (25 \cdot 20)$	%	9.59	9.36	9.38	
27 % vacíos del agregado mineral 100-25	%	11.74	13.90	13.67	13.10
28 Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) \cdot (3 \cdot 4)$	%	5.25	5.25	5.25	
29 Relación betún vacíos $(26-27) \cdot 100$	%	81.72	67.33	68.83	72.56
30 Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1345	1300	1400	
31 Factor de estabilidad		1.04	1.00	1.00	
32 Estabilidad corregida $31 \cdot 32$	kg	1399	1300	1400	1366
33 Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	16	19	20	18
34 Fluencia	m.m.	4.06	4.83	5.08	
35 Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3442	2694	2756	2964

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACIÓN DE CONCRETO ASFÁLTICO
 MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1395	
Peso de C.A	90	6.0%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

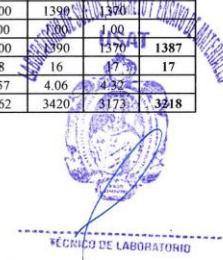
Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	41.45
B Arena	54.90	51.61
C Filler	1	0.94

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla
Especificaciones IVB

1	Número de briketa	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6.0	6.0	6.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	41.45	41.45	41.45	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	51.61	51.61	51.61	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.94	0.94	0.94	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
12	Altura promedio de la briketa	cm.	6.6	6.5	7.1	
13	Peso de la briketa en el aire	gr.	1184.00	1195.00	1190.00	
14	Peso de la briketa saturada superficialmente seca	gr.	1186.90	1196.80	1192.00	
15	Peso de la briketa en el agua	gr.	671	683	679	
16	Volumen de la briketa 14-15	c.c.	516	514	513	
17	Peso unitario de la briketa 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.293	2.325	2.318	2.312
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.411	2.411	2.411	
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100-((2/6)+(3*2/(7+8)+(4*2/(9+10)))	gr/cc.	2.337	2.337	2.337	
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	4.87	3.54	3.83	4.08
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-2)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc.	2.563	2.563	2.563	
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4*P-10))	gr/cc.	2.546	2.546	2.546	
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6((23-21)/(23*21)) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.27	0.27	0.27	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briketa (3+4)*17/21	%	85.25	86.45	86.19	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briketa 100-(25+20)	%	9.88	10.01	9.98	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	14.75	13.55	13.81	14.04
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	5.75	5.75	5.75	
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	%	66.97	73.89	72.88	71.05
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1400	1390	1370	
31	Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	1400	1390	1370	1387
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	18	16	17	17
34	Fluencia	m.m.	4.57	4.06	4.32	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3062	3420	3173	3218

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

PORCENTAJE DE ASFALTO	4%	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	724	724	724	724	724
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2550	2550	2550	2550	2550
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	1936	1933	1930	1929	1928
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3435.9	3432.9	3430.2	3428.5	3427.8
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	614	617	620	622	622
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.443	2.431	2.420	2.414	2.411


Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



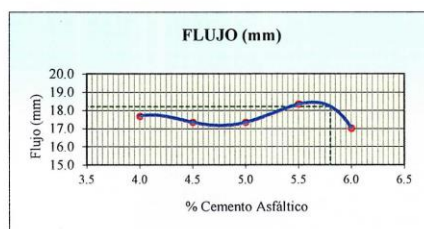
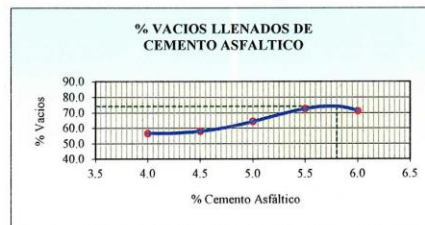
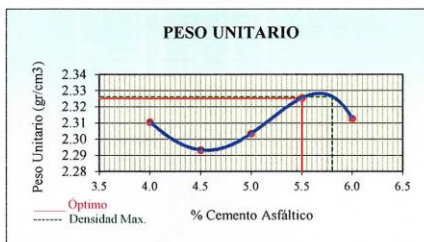


UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL DISEÑO ASFÁLTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
TESISTA : Angulo López Alondra Yacory



RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.8
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.326
Vacios (%)	3.50
Vacios del Agregado mineral (%)	13.57
Vacios Llenados de C.A (%)	74.00
Flujo (mm)	4.62
Estabilidad (Kg)	1395
Relación Polvo Asfalto	0.99

Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtuvo del Peso Unitario, Vacíos en Aire y Estabilidad



Henry Oblitas
 Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT



TECNICO DE LABORATORIO



ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS VARIANDO EL % DEL PET

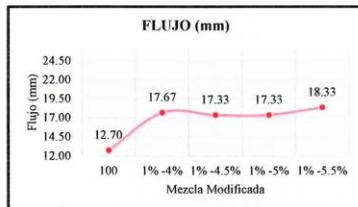
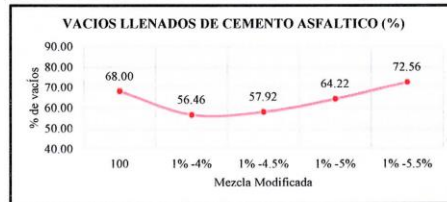
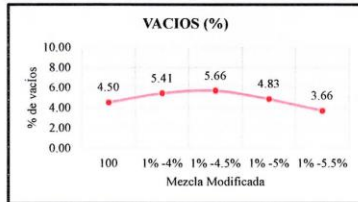
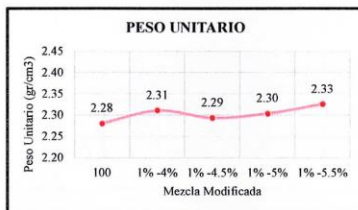
DESCRIPCION : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada

MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena

CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande

TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

Relación Pen-Filler	Peso Unitario (gr/cm2)	RESULTADOS					Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo
		Vacios (%)	Vacios del agregado Mineral (%)	Vacios Llenados de C.A (%)	Flujo (mm)				
100	2.28	4.50	22.00	68.00	12.70	1755.68	1.23	1809.22	
1%-4%	2.31	5.41	12.28	56.46	17.67	1255.00	1.23	2846.31	
1%-4.5%	2.29	5.66	13.40	57.92	17.33	1261.00	1.23	2888.46	
1%-5%	2.30	4.83	13.47	64.22	17.33	1302.57	1.23	2989.98	
1%-5.5%	2.33	3.66	13.10	72.56	18.33	1366.27	1.23	2963.86	
1%-6%	2.31	4.08	14.04	71.05	17.00	1386.67	1.23	3218.39	



Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



TECNICO DE LABORATORIO

**ANEXO N° 3.3: Diseño de MAC + 3% según el
método Marshall**



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
 MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
 CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
 TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1425	
Peso de C.A	60	4.00%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la	1500	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	42.34
B Arena	54.90	52.70
C Filler	1	0.96

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

#	1	2	3	Prom.
1 Número de briqueta				
2 C.A. en peso de la mezcla	4.0	4.0	4.0	
3 % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	42.34	42.34	42.34	
4 % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	52.70	52.70	52.70	
5 % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	0.96	0.96	0.96	
6 Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc. 1.023	1.023	1.023	
7 Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.504	2.504	2.504	
8 Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.565	2.565	2.565	2.535
9 Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.583	2.583	2.583	
10 Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.596	2.596	2.596	2.590
11 Peso específico aparente del filler	gr/cc. 1.47	1.47	1.47	1.470
12 Altura promedio de la briqueta	cm. 7.1	7.4	6.6	
13 Peso de la briqueta en el aire	gr. 1115.32	1190.51	1158.67	
14 Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr. 1120	1200	1170.0	
15 Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr. 600	650	630	
16 Volumen de la briqueta 14-15	c.c. 520	550	540	
17 Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc. 2.145	2.165	2.146	2.152
18 Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc. 2.214	2.214	2.214	
19 Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3^2/(7+8)) + (4^2/(9+10)))$	gr/cc. 2.403	2.403	2.403	
20 % de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	% 3.14	2.25	3.10	2.83
21 Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc. 2.529	2.529	2.529	
22 Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc. 2.563	2.563	2.563	
23 Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P-8) + (4^2/P-10))$	gr/cc. 2.546	2.546	2.546	
24 Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23-21) / (23^2 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	% 0.27	0.27	0.27	
25 % del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4) * 17/21$	% 81.43	82.18	81.46	
26 % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	% 15.43	15.57	15.44	
27 % vacíos del agregado mineral 100-25	% 18.57	17.82	18.54	18.31
28 Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 \cdot (24/100) * (3+4)$	% 3.74	3.74	3.74	
29 Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	% 83.10	87.39	83.27	84.59
30 Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg 1036	1053	1012	
31 Factor de estabilidad	1.00	0.89	0.93	
32 Estabilidad corregida 31*32	kg 1036	1053	1012	1034
33 Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul. 29	20	21	23
34 Fluencia	m.m. 7.37	5.08	5.33	
35 Relación Estabilidad / Fluencia	m.m. 1406	2073	1897	1792

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



FECHAS DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1417.5
Peso de C.A	67.5 -4.5%
Peso del Cemento	15
Peso Total de la	1500

15

	Material	% Mezcla	% Diseño
A	Grava Triturada	44.10	42.11
B	Arena	54.90	52.43
C	Filler	1	0.96

Mezcla	
Mezcla	IVB

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.5	4.5	4.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	42.11	42.11	42.11	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	52.43	52.43	52.43	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.96	0.96	0.96	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	7.6	7.1	6.7	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1212.79	1135.76	1098.19	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1220	1140	1110.0	
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	650	610	600	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	570	530	510	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.128	2.143	2.153	2.141
18	Peso específico tétrico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.201	2.201	2.201	
19	Máxima densidad tétrica de los agregados $100 / ((2/6) + (3/2) + (7/8) + (4/2) + (9/10))$	gr/cc.	2.386	2.386	2.386	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	3.33	2.64	2.17	2.71
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.563	2.563	2.563	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4 * P - 10))$	gr/cc.	2.546	2.546	2.546	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.27	0.27	0.27	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3 + 4) * 17 / 21$	%	80.36	80.93	81.32	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25 + 20)$	%	16.31	16.43	16.51	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	19.64	19.07	18.68	19.13
28	Asfalto efectiva / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4)$	%	4.24	4.24	4.24	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	83.04	86.16	88.39	85.86
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1067	1237	1042	
31	Factor de estabilidad		0.86	0.96	1.00	
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	918	1188	1042	1049
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35/0.254)	pul.	17	25	29	24
34	Fluencia	m.m.	4.32	6.35	7.37	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	2125	1870	1415	1803

Henry
Ribadeneyra
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT



TECNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	45%	634.50	Peso de Muestra	1410
Arena	55%	775.50	Peso de C.A	75 5.0%
Cemento (Filler)	1%		Peso del Cemento	15
CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70			Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	41.89
B Arena	54.90	52.16
C Filler	1	0.95

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.0	5.0	5.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	41.89	41.89	41.89	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	52.16	52.16	52.16	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.95	0.95	0.95	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	7.4	6.9	6.65	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1118.66	1172.61	1180.34	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1130	1180	1190	
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	640	670	670	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	490	510	520	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.283	2.299	2.270	2.284
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.352	2.352	2.352	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2)/(7+8) + (4*2)/(9+10))$	gr/cc.	2.369	2.369	2.369	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	2.93	2.24	3.48	2.88
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.563	2.563	2.563	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P-8) + (4*P-10))$	gr/cc.	2.546	2.546	2.546	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23-21) / (23*21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.27	0.27	0.27	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4) * 17/21$	%	85.77	86.38	85.28	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	%	11.30	11.38	11.24	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	14.23	13.62	14.72	14.19
28	Asfalto efectiva / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	4.74	4.74	4.74	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	79.43	83.58	76.33	79.78
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1186	1002	1242	
31	Factor de estabilidad		1.09	1.00	1.00	
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	1293	1002	1242	1179
33	Lectura del flexímetro $(0.01") (35 / 0.254)$	pul.	20	27	26	24.7
34	Fluencia	m.m.	5.08	6.86	6.60	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	2545	1461	1881	1962

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	45%	Peso de Muestra	1402.5
Arena	55%	Peso de C.A	82.5 5.5%
Cemento (Filler)	1%	Peso del Cemento	15
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70		Mezcla Asfáltica	1500

	Material	% Mezcla	% Diseño
A	Grava Triturada	44.10	41.67
B	Arena	54.90	51.88
C	Filler	1	0.95

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.5	5.5	5.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	41.67	41.67	41.67	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	51.88	51.88	51.88	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.95	0.95	0.95	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.6	6.4	6.3	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1159.35	1107.65	1168.44	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seco	gr.	1170	1110	1180.0	
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	650	610	650	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	520	500	530	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.230	2.215	2.205	2.216
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.331	2.331	2.331	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2)/(7+8) + (4*2)/(9+10))$	gr/cc.	2.353	2.353	2.353	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	4.34	4.95	5.41	4.90
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.563	2.563	2.563	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P - 8) + (4*P - 10))$	gr/cc.	2.546	2.546	2.546	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.27	0.27	0.27	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4) * 17/21$	%	83.32	82.79	82.39	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	%	12.34	12.26	12.20	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	16.68	17.21	17.61	17.17
28	Asfalto efectiva / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	5.25	5.25	5.25	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	73.99	71.25	69.29	71.51
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1104	1044	1110	
31	Factor de estabilidad		1.00	1.04	0.95	
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	1104	1086	1066	1085
33	Lectura del flexímetro $(0.01") (35 / 0.254)$	pul.	28	30	23	27
34	Fluencia	m.m.	7.11	7.62	5.84	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	1552	1425	1824	1600

Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
 MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
 CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
 TESISISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1395
Peso de C.A	90 6.0%
Peso del Cemento	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

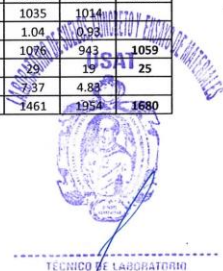
Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	41.45
B Arena	54.90	51.61
C Filler	1	0.94

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

Mezcla	IVB
--------	-----

#	Descripción	Unidad	1	2	3	Prom.
1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6.0	6.0	6.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	41.45	41.45	41.45	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	51.61	51.61	51.61	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.94	0.94	0.94	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.6	6.6	7.3	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1066.82	1071.06	1168.56	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1070	1080	1180	
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	570	580	640	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	500	500	540	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.134	2.142	2.164	2.147
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.225	2.225	2.225	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3^2 / (7+8)) + (4^2 / (9+10)))$	gr/cc.	2.337	2.337	2.337	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	4.10	3.72	2.74	3.52
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.563	2.563	2.563	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P - 8) + (4*P - 10))$	gr/cc.	2.546	2.546	2.546	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.27	0.27	0.27	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4) * 17/21$	%	79.32	79.63	80.44	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	%	16.58	16.65	16.82	
27	% vacíos del agregado mineral $100 - 25$	%	20.68	20.37	19.56	20.20
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	5.75	5.75	5.75	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	80.18	81.74	86.01	82.64
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1112	1035	1014	
31	Factor de estabilidad		1.04	1.04	0.93	
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	1156	1076	943	1059
33	Lectura del flexímetro (0.01") $(35 / 0.254)$	pul.	28	29	19	25
34	Fluencia	m.m.	7.11	7.37	4.88	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	1626	1461	1954	1680

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



TECNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada

MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena

CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande

TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

PORCENTAJE DE ASFALTO	4%	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	724	724	724	724	724
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2550	2550	2550	2550	2550
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	1873	1869	1912	1906	1876
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3372.6	3368.5	3412.2	3406.4	3375.8
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	677	682	638	644	674
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.214	2.201	2.352	2.331	2.225


 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT



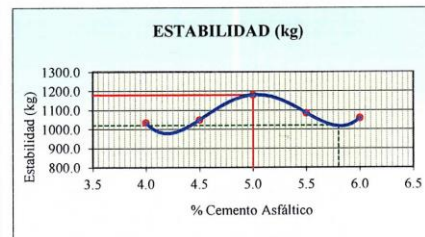
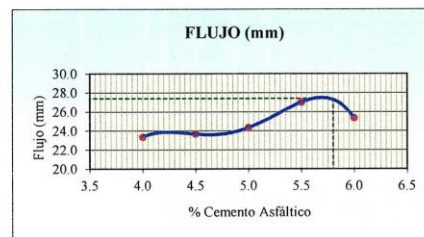
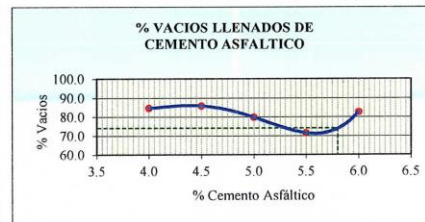
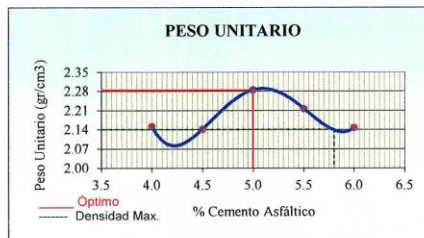


UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



REPRESENTACION GRAFICA DEL DISEÑO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
TESISTA : Angulo López Alondra Yacory



RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.8
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.140
Vacios (%)	5.10
Vacios del Agregado mineral (%)	20.00
Vacios Llenados de C.A (%)	74.00
Flujo (mm)	6.96
Estabilidad (Kg)	1020
Relación Polvo Asfalto	0.99

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
 Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico también es el Óptimo de Peso de Polvo de Asfalto, Vacios al aire y Estabilidad
 Henry Rivadeneira
 Tec. Laboratorio USAT



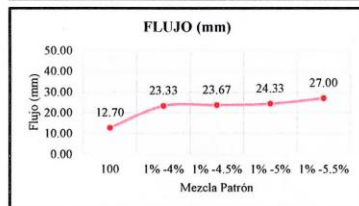
UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS VARIANDO EL % DEL PET

DESCRIPCION : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

RESULTADOS								
Relación Pen-Filler	Peso Unitario (gr/cm ²)	Vacios (%)	Vacios del agregado Mineral (%)	Vacios Llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo
100	2.28	4.50	22.00	68.00	12.70	1755.68	1.23	1809.22
1% -4%	2.15	2.83	18.31	84.59	23.33	1033.67	1.23	1792.19
1% -4.5%	2.14	2.71	19.13	85.86	23.67	1049.05	1.23	1803.27
1% -5%	2.28	2.88	14.19	79.78	24.33	1178.91	1.23	1962.17
1% -5.5%	2.22	4.90	17.17	71.51	27.00	1085.12	1.23	1600.41
1% -6%	2.15	3.52	20.20	82.64	25.33	1058.63	1.23	1680.48



Henry Rivadeneira Oblitas
 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



**ANEXO N° 3.4: Diseño de MAC + 5% según el
método Marshall**



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACIÓN DE CONCRETO ASFÁLTICO
MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T - 245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
 MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
 CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
 TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	55%
Arena	45%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASPALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1425	
Peso de C.A	60	4.00%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la	1500	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	42.34
B Arena	54.90	52.70
C Filler	1	0.96

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9	
100	80-100	70-88	51-68	38-52	17-28	8-17	4-8	

1	Número de briquea	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.0	4.0	4.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	42.34	42.34	42.34	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	52.70	52.70	52.70	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.96	0.96	0.96	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
12	Altura promedio de la briquea	cm.	6.7	6.4	6.9	
13	Peso de la briquea en el aire	gr.	1110.68	1089.67	1178.99	
14	Peso de la briquea saturada superficialmente seca	gr.	1120	1100	1190.0	
15	Peso de la briquea en el agua	gr.	610	600	640	
16	Volumen de la briquea 14-15	c.c.	510	500	550	
17	Peso unitario de la briquea 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.178	2.179	2.144	2.167
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.215	2.215	2.215	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3^2/(7+8)) + (4^2/(9+10)))$	gr/cc.	2.403	2.403	2.403	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	1.69	1.62	3.24	2.19
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))$	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))$	gr/cc.	2.563	2.563	2.563	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P. 8) + (4 * P. 10))$	gr/cc.	2.546	2.546	2.546	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100-6(23-21)/(23*21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.27	0.27	0.27	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briquea $(3+4) * 17/21$	%	82.68	82.74	81.38	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briquea $100 - (25+20)$	%	15.63	15.64	15.38	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	17.32	17.26	18.62	17.73
28	Asfalto efectiva / peso de la mezcla $2 * (24/100) * (3+4)$	%	3.74	3.74	3.74	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	90.22	90.59	82.61	87.81
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1000	1110	1230	
31	Factor de estabilidad		1.00	1.04	0.89	
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	1000	1110	1230	1113
33	Lectura del flexímetro $(0.01'') (35 / 0.254)$	pul.	40	38	33	37
34	Fluencia	m.m.	10.16	9.65	8.38	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	984	1150	1467	1201

Henry Rivasdeneyra Obítas
 Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACIÓN DE CONCRETO ASFÁLTICO
 MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T - 245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
 MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
 CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
 TESISISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1417.5
Peso de C.A	67.5
Peso del Cemento	15
Peso Total de la	1500

15

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	42.11
B Arena	54.90	52.43
C Filler	1	0.96

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9	
100	80-100	70-88	51-68	38-52	17-28	8-17	4-8	

Mezcla
Especificaciones IVB

1	Número de briketa	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.5	4.5	4.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	42.11	42.11	42.11	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	52.43	52.43	52.43	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.96	0.96	0.96	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
12	Altura promedio de la briketa	cm.	6.7	6.9	7.1	
13	Peso de la briketa en el aire	gr.	1160.46	1141.32	1158.65	
14	Peso de la briketa saturada superficialmente seca	gr.	1170	1150	1170.0	
15	Peso de la briketa en el agua	gr.	650	620	650	
16	Volumen de la briketa 14-15	c.c.	520	530	520	
17	Peso unitario de la briketa 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.232	2.153	2.228	2.204
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.264	2.264	2.264	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3 \cdot 2 / (7+8)) + (4 \cdot 2 / (9+10)))$	gr/cc.	2.386	2.386	2.386	
20	% de vacíos con aire $100 \cdot (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	1.44	4.89	1.59	2.64
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 \cdot 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 \cdot 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.563	2.563	2.563	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P-8) + (4 \cdot P-10))$	gr/cc.	2.546	2.546	2.546	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 \cdot 6(23-21) / (23 \cdot 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.27	0.27	0.27	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briketa $(3+4) \cdot 17/21$	%	84.28	81.33	84.15	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briketa $100 \cdot (25+20)$	%	14.28	13.78	14.26	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	15.72	18.67	15.85	16.75
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 \cdot (24/100) \cdot (3+4)$	%	4.24	4.24	4.24	
29	Relación betún vacíos $(26/27) \cdot 100$	%	90.87	73.81	89.97	84.88
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1340	1045	1090	
31	Factor de estabilidad		1.00	0.96	1.00	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	1340	1003	1090	1144
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	39	27	48	38
34	Fluencia	m.m.	9.91	6.86	12.19	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	1353	1463	894	1237

Henry Rivas de la Cruz Obispo
 Ing. Civil
 Ing. de Laboratorio
 USAT





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACIÓN DE CONCRETO ASFÁLTICO
MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T - 245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1410	
Peso de C.A	75	5.0%
Peso del Cemento	15	
Mezcla Asfáltica	1500	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	41.89
B Arena	54.90	52.16
C Filler	1	0.95

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

#	1	2	3	Prom.
1	Número de briquea			
2	C.A. en peso de la mezcla	5.0	5.0	5.0
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	41.89	41.89	41.89
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	52.16	52.16	52.16
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	0.95	0.95	0.95
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc. 1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.504	2.504	2.504
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.565	2.565	2.565
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.583	2.583	2.583
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.596	2.596	2.596
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc. 1.47	1.47	1.47
12	Altura promedio de la briquea	cm. 6.0	7.3	6.9
13	Peso de la briquea en el aire	gr. 1090.67	1178.04	1151.90
14	Peso de la briquea saturada superficialmente seca	gr. 1100	1190	1160.0
15	Peso de la briquea en el agua	gr. 610.0	660	650.0
16	Volumen de la briquea 14-15	c.c. 490.0	530	510.0
17	Peso unitario de la briquea 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc. 2.226	2.223	2.259
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc. 2.370	2.370	2.370
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3^2 / (7+8)) + (4^2 / (9+10)))$	gr/cc. 2.369	2.369	2.369
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	% 6.10	6.23	4.72
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc. 2.529	2.529	2.529
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2.1) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc. 2.563	2.563	2.563
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P) - 8) + (4 * P / 10)$	gr/cc. 2.546	2.546	2.546
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	% 0.27	0.27	0.27
25	% del vol del Agregado / Volumen Bruto de la briquea $(3+4) * 17/21$	% 83.62	83.51	84.85
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briquea $100 - (25+20)$	% 10.28	10.26	10.43
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	% 16.38	16.49	15.15
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	% 4.74	4.74	4.74
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	% 62.76	62.22	68.86
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg 1112	1210	1345
31	Factor de estabilidad	1.09	0.96	1.00
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	kg 1212	1162	1345
33	Lectura del flexímetro $(0.01") (35 / 0.254)$	mil. 28	40	33
34	Fluencia	m.m. 7.11	10.16	8.38
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m. 1704	1143	1605
				1484





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACIÓN DE CONCRETO ASFÁLTICO
MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T - 245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1402.5
Peso de C.A	82.5
Peso del Cemento	15
Mezcla Asfáltica	1500
	5.5%

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	41.67
B Arena	54.90	51.88
C Filler	1	0.95

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla	
Especificaciones IVB	

1	Número de briquea	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.5	5.5	5.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	41.67	41.67	41.67	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	51.88	51.88	51.88	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.95	0.95	0.95	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.533
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
12	Altura promedio de la briquea	cm.	6.7	6.6	6.6	
13	Peso de la briquea en el aire	gr.	1180.08	1126.6	1161.48	
14	Peso de la briquea saturada superficialmente seca	gr.	1190	1140	1180.00	
15	Peso de la briquea en el agua	gr.	670	620	660	
16	Volumen de la briquea 14-15	c.c.	520	520	520	
17	Peso unitario de la briquea 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.269	2.167	2.234	2.223
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.309	2.309	2.309	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3^2/2(7+8)) + (4^2/9+10))$	gr/cc.	2.353	2.353	2.353	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	1.72	6.17	3.27	3.72
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))$	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))$	gr/cc.	2.563	2.563	2.563	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4)/((3/P-8)+(4^2/P-10))$	gr/cc.	2.546	2.546	2.546	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100-6(23-21)/(23^2-21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.27	0.27	0.27	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briquea $(3+4) * 17/21$	%	84.81	80.97	83.47	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briquea $100-(25+20)$	%	13.47	12.86	13.26	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	15.19	19.03	16.53	16.92
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	5.25	5.25	5.25	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	88.67	67.56	80.22	78.82
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1315	1106	1264	
31	Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	1315	1106	1264	1228
33	Lectura del flexímetro (0.01") $(35 / 0.254)$	pul.	34	40	39	38
34	Fluencia	m.m.	8.64	10.16	9.91	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	1523	1089	1276	1296





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACIÓN DE CONCRETO ASFÁLTICO
MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T - 245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1395
Peso de C.A.	90 6.0%
Peso del Cemento	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	41.45
B Arena	54.90	51.61
C Filler	1	0.94

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

1	Número de briquea	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6.0	6.0	6.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	41.45	41.45	41.45	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	51.61	51.61	51.61	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.94	0.94	0.94	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
12	Altura promedio de la briquea	cm.	6.4	6.5	6.9	
13	Peso de la briquea en el aire	gr.	1148.09	1151.5	1230.53	
14	Peso de la briquea saturada superficialmente seca	gr.	1160	1160	1240	
15	Peso de la briquea en el agua	gr.	620	620	660	
16	Volumen de la briquea 14-15	c.c.	540	540	580	
17	Peso unitario de la briquea 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.126	2.132	2.122	2.127
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.208	2.208	2.208	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3 \cdot 2 / (7+8)) + (4 \cdot 2 / (9+10)))$	gr/cc.	2.337	2.337	2.337	
20	% de vacíos con aire $100 \cdot (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	3.69	3.40	3.89	3.66
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 \cdot 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 \cdot 2) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.563	2.563	2.563	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P \cdot 8) + (4 \cdot P \cdot 10))$	gr/cc.	2.546	2.546	2.546	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 \cdot 6(23 \cdot 21) / (23 \cdot 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.27	0.27	0.27	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briquea $(3+4) \cdot 17/21$	%	79.03	79.27	78.87	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briquea $100 \cdot (25+20)$	%	17.28	17.33	17.24	
27	% vacíos del agregado mineral 100.25	%	20.97	20.73	21.13	20.94
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 \cdot (24/100) \cdot (3+4)$	%	5.75	5.75	5.75	
29	Relación betún vacíos $(26/27) \cdot 100$	%	82.41	83.59	81.59	82.53
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1322	1064	1280	
31	Factor de estabilidad		0.93	0.93	0.83	
32	Estabilidad corregida $31 \cdot 32$	kg	1229	990	1062	1094
33	Lectura del flexómetro $(0.01 \cdot) (35 / 0.254)$	pul.	33	39	36	36
34	Fluencia	m.m.	8.38	9.91	9.14	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	1467	999	1162	1209

Henry Rivasdenegra Obitias
Téc. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
 ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D - 2041

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
 MATERIAL : Grava Clancada 1/2" - Arena
 CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
 TESISISTA : Angulo López Alondra Yacory

PORCENTAJE DE ASFALTO	4%	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	724	724	724	724	724
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2550	2550	2550	2550	2550
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	1873	1888	1917	1900	1871
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3372.9	3387.5	3417.2	3400.4	3370.5
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	677	663	633	650	680
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6)	2.215	2.264	2.370	2.309	2.208


 Henry Rivadeneyra Obitos
 Tec. Laboratorio USAT



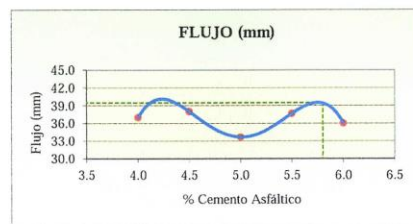
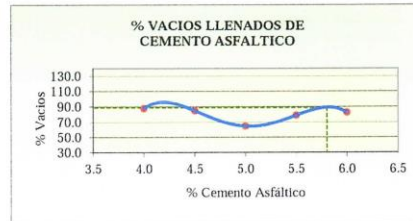
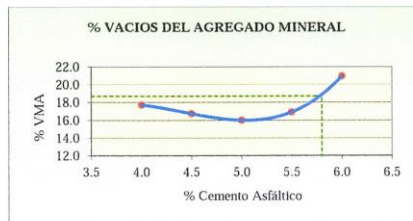
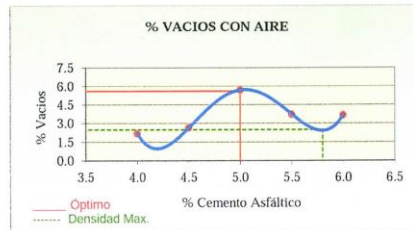
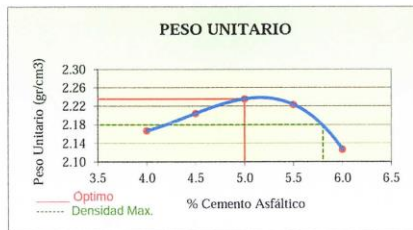


UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL DISEÑO ASFÁLTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T - 245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en calle modificada
MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
TESISTA : Angulo López Alondra Yacory



RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.8
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.180
Vacios (%)	2.50
Vacios del Agregado mineral (%)	18.70
Vacios Llenados de C.A (%)	89.00
Flujo (mm)	10.03
Estabilidad (Kg)	1150
Relación Polvo Asfalto	0.99

Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacíos al aire y Estabilidad





ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS VARIANDO EL % DE PET

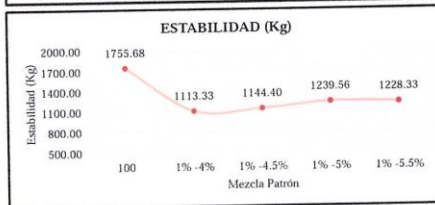
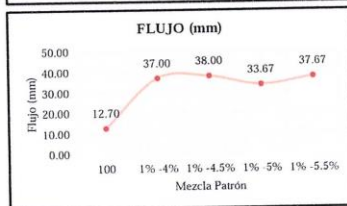
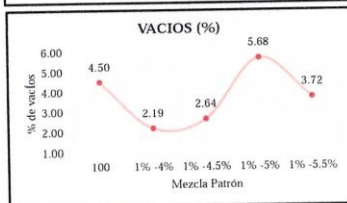
DESCRIPCION : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada

MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena

CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande

TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

Relación Pen-Filler	Peso Unitario (gr/cm ³)	RESULTADOS			Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo
		Vacios (%)	Vacios del agregado Mineral (%)	Vacios Llenados de C/A (%)				
100	2.28	4.50	22.00	68.00	12.70	1755.68	1.23	1809.22
1% -4%	2.17	2.19	17.73	87.81	37.00	1113.33	1.23	1200.57
1% -4.5%	2.20	2.64	16.75	84.88	38.00	1144.40	1.23	1236.52
1% -5%	2.24	5.68	16.01	64.62	33.67	1239.56	1.23	1484.07
1% -5.5%	2.22	3.72	16.92	78.82	37.67	1228.33	1.23	1295.76
1% -6%	2.13	3.66	20.94	82.53	36.00	1093.79	1.23	1209.18



Henry Rivasdeygra Obillitas
 Henry Rivasdeygra Obillitas
 Tec. Laboratorio USAT



**ANEXO N° 3.5: Diseño de MAC + 7% según el
método Marshall**



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASHTO T -245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
 MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
 CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
 TESISISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1425	
Peso de C.A	60	4.00%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la	1500	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	42.34
B Arena	54.90	52.70
C Filler	1	0.96

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

1	Número de briqueeta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.0	4.0	4.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	42.34	42.34	42.34	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla(menor #4)	%	52.70	52.70	52.70	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.96	0.96	0.96	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (~#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (~#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena(-#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena(-#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
12	Altura promedio de la briqueeta	cm.	6.9	7.1	7.2	
13	Peso de la briqueeta en el aire	gr.	1172.4	1132.89	1110.60	
14	Peso de la briqueeta saturada superficialmente seca	gr.	1190	1140	1120.0	
15	Peso de la briqueeta en el agua	gr.	650	610	600	
16	Volumen de la briqueeta 14-15	c.c.	540	530	520	
17	Peso unitario de la briqueeta 13-16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.171	2.138	2.136	2.148
18	Peso específico teórico máximo (Rtce) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.206	2.206	2.206	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 \cdot ((2.6)/(3 \cdot 2) + (7+8)/(4 \cdot 2) + (9+10))$	gr/cc.	2.403	2.403	2.403	
20	% de vacíos con aire $100 \cdot ((1-17)/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	1.56	3.08	3.16	2.60
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 \cdot 2) / ((3 \cdot 7) + (4 \cdot 9) + (5 \cdot 11))$	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 \cdot 2) / ((3 \cdot 8) + (4 \cdot 10) + (5 \cdot 11))$	gr/cc.	2.563	2.563	2.563	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P-8) + (4*P-10))$	gr/cc.	2.546	2.546	2.546	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 \cdot 6(23-21) / (23 \cdot 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.27	0.27	0.27	
25	% del vol.del Agregado / Volumen Bruto de la briqueeta $(3+4) \cdot 17/21$	%	82.43	81.15	81.08	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueeta $100 \cdot (25+20)$	%	16.01	15.77	15.75	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	17.57	18.85	18.92	18.45
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 \cdot (24/100) \cdot (3+4)$	%	3.74	3.74	3.74	
29	Relación betún vacíos $(26 \cdot 27) \cdot 100$	%	91.11	83.64	83.27	86.01
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1060	1010	1108	
31	Factor de estabilidad		0.93	0.96	1.00	
32	Estabilidad corregida $31 \cdot 32$	kg	1060	1010	1108	1059
33	Lectura del flexímetro (0.01") $(35 / 0.254)$	pul.	56	55	49	53
34	Fluencia	m.m.	14.22	13.97	12.45	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	745	723	890	786

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS
 USAT
 UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA TORIBIO DE MOGROVEJO
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
 MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
 CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
 TESISISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1417.5
Peso de C.A	67.5 4.5%
Peso del Cemento	15
Peso Total de la	1500

	Material	% Mezcla	% Diseño
A	Grava Triturada	44.10	42.11
B	Arena	54.90	52.43
C	Filler	1	0.96

Mezcla	
Especificaciones	IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

	#	1	2	3	Prom.
1	Número de briqueta				
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.5	4.5	4.5
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	42.11	42.11	42.11
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	52.43	52.43	52.43
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.96	0.96	0.96
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (-#4) (ASTM D 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504
8	Peso específico Aparente de la grava (-#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565
9	Peso específico Bulk de la arena(- #4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583
10	Peso específico Aparente de la arena(- #4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.8	6.4	6.5
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1183.91	1148.85	1171.62
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1190	1160	1190.0
15	Peso de la briqueta en el agua	gr.	640	620	640
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	550	540	550
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.153	2.128	2.130
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.175	2.175	2.175
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2.6) + (3 \cdot 2) / (7 + 8) + (4 \cdot 2) / (9 + 10))$	gr/cc.	2.386	2.386	2.386
20	% de vacíos con aire $100 \cdot (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	1.05	2.21	2.08
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.529	2.529	2.529
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.563	2.563	2.563
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4/P - 10))$	gr/cc.	2.546	2.546	2.546
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 \cdot 6(23 - 21) / (23 \cdot 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.27	0.27	0.27
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3 + 4) \cdot 17/21$	%	81.30	80.35	80.45
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25 + 20)$	%	17.65	17.45	17.47
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	18.70	19.65	19.55
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) \cdot (3 + 4)$	%	4.24	4.24	4.24
29	Relación betún vacíos $(26/27) \cdot 100$	%	94.37	88.77	89.35
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1080	1011	1142.2
31	Factor de estabilidad		0.89	0.93	0.89
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	961	940	999
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	47	41	50
34	Fluencia	m.m.	1394	10.41	12.70
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	805	903	786

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1410
Peso de C.A	75 5.0%
Peso del Cemento	15
Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	41.89
B Arena	54.90	52.16
C Filler	1	0.95

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

1	Número de briquea	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.0	5.0	5.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	41.89	41.89	41.89	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	52.16	52.16	52.16	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.95	0.95	0.95	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (-#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (-#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena(-#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena(-#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
12	Altura promedio de la briquea	cm.	6.7	7.3	7.3	
13	Peso de la briquea en el aire	gr.	1044.11	1111.71	1145.74	
14	Peso de la briquea saturada superficialmente seca	gr.	1060	1130	1170.0	
15	Peso de la briquea en el agua	gr.	600.0	620	640.0	
16	Volumen de la briquea 14-15	c.c.	460.0	510	530.0	
17	Peso unitario de la briquea 13-16 (ASTM D 2726, MTC E 314)	gr/cc.	2.270	2.180	2.162	2.204
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.308	2.308	2.308	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 \frac{(2.6) + (3 \cdot 2) + (7 \cdot 8) + (4 \cdot 2) + (9 \cdot 10)}{(2.6) + (3 \cdot 2) + (7 \cdot 8) + (4 \cdot 2) + (9 \cdot 10)}$	gr/cc.	2.369	2.369	2.369	
20	% de vacíos con aire $100 \frac{(1-17) \cdot 18}{(1-17) \cdot 18}$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	1.67	5.57	6.35	4.53
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $\frac{100 \cdot 2}{(100-2) + (3 \cdot 7) + (4 \cdot 9) + (5 \cdot 11)}$	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
22	Peso específico Aparente del agregado total $\frac{100 \cdot 21}{(100-21) + (3 \cdot 8) + (4 \cdot 10) + (5 \cdot 11)}$	gr/cc.	2.563	2.563	2.563	
23	Peso específico efectivo del agregado total $\frac{3 \cdot 4}{(3 \cdot 4) + (3 \cdot P - 8) + (4 \cdot P - 10)}$	gr/cc.	2.546	2.546	2.546	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 \cdot \frac{6(23-21) + (23 \cdot 21)}{(23 \cdot 21)}$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.27	0.27	0.27	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briquea $\frac{3 \cdot 4}{(3 \cdot 4) \cdot 17 \cdot 21}$	%	85.27	81.89	81.22	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briquea $100 \cdot \frac{25 \cdot 20}{25 \cdot 20}$	%	13.05	12.54	12.43	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	14.73	18.11	18.78	17.21
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 \cdot \frac{24 \cdot 100}{(24 \cdot 100) \cdot (3 \cdot 4)}$	%	4.74	4.74	4.74	
29	Relación betón vacíos $\frac{26 \cdot 27}{26 \cdot 27} \cdot 100$	%	88.65	69.24	66.18	74.69
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1010	1000	1095	
31	Factor de estabilidad		1.19	1.00	1.096	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	1202	1000	1051	1084
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	43	49	44	45
34	Fluencia	m.m.	10.92	12.45	11.18	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	1100	803	941	948

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT



TECNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1402.5
Peso de C.A	82.5 5.5%
Peso del Cemento	15
Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	41.67
B Arena	54.90	51.88
C Filler	1	0.95

Mezcla	
Especificaciones	IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

1	Número de briquea	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.5	5.5	5.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	41.67	41.67	41.67	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	51.88	51.88	51.88	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.95	0.95	0.95	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (~#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (~#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena (~#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena (~#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
12	Altura promedio de la briquea	cm.	6.7	7.0	6.8	
13	Peso de la briquea en el aire	gr.	1178.32	1180.44	1185.14	
14	Peso de la briquea saturada superficialmente seca	gr.	1190	1190	1200.0	
15	Peso de la briquea en el agua	gr.	630	640	660	
16	Volumen de la briquea 14-15	c.c.	560	550	540	
17	Peso unitario de la briquea 13-16 (ASTM D 2726, MTC E 314)	gr/cc.	2.104	2.146	2.195	2.148
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.207	2.207	2.207	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 \frac{(2.6) + (3 \cdot 2) + (7 \cdot 8) + (4 \cdot 2) + (9 \cdot 10)}{(2.6) + (3 \cdot 2) + (7 \cdot 8) + (4 \cdot 2) + (9 \cdot 10)}$	gr/cc.	2.353	2.353	2.353	
20	% de vacíos con aire $100 \cdot (1 - \frac{17}{18})$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	4.67	2.76	0.57	2.66
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) \frac{(3 \cdot 7) + (4 \cdot 9) + (5 \cdot 11)}{(3 \cdot 7) + (4 \cdot 9) + (5 \cdot 11)}$	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2) \frac{(3 \cdot 8) + (4 \cdot 10) + (5 \cdot 11)}{(3 \cdot 8) + (4 \cdot 10) + (5 \cdot 11)}$	gr/cc.	2.563	2.563	2.563	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) \frac{(3 \cdot P - 8) + (4 \cdot P - 10)}{(3 \cdot P - 8) + (4 \cdot P - 10)}$	gr/cc.	2.546	2.546	2.546	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) \frac{(23 \cdot 21)}{(23 \cdot 21)}$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.27	0.27	0.27	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briquea $(3 + 4) \cdot 17.21$	%	78.63	80.21	82.02	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briquea $100 - (25 + 20)$	%	16.70	17.03	17.42	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	21.37	19.79	17.98	19.71
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) \cdot (3 + 4)$	%	5.25	5.25	5.25	
29	Relación betún vacíos $(26/27) \cdot 100$	%	78.15	86.05	96.86	87.02
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1025	1000	1010	
31	Factor de estabilidad		0.86	0.89	0.93	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	882	890	939	904
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	45	39	40	41
34	Fluencia	m.m.	11.43	9.91	10.46	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	771	898	925	865

Henry Rivadeneira Obillas
Tec. Laboratorio USAT
USAT Universidad Católica Santa Teresita Mogrovejo
TECNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1395
Peso de C.A	90 6,0%
Peso del Cemento	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	41.45
B Arena	54.90	51.61
C Filler	1	0.94

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla	
Especificaciones IVB	

1	Número de briqueeta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6.0	6.0	6.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	41.45	41.45	41.45	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	51.61	51.61	51.61	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.94	0.94	0.94	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
12	Altura promedio de la briqueeta	cm.	6.5	6.3	6.2	
13	Peso de la briqueeta en el aire	gr.	1172.73	1218.87	1181.07	
14	Peso de la briqueeta saturada superficialmente seca	gr.	1180	1230	1190.0	
15	Peso de la briqueeta en el agua	gr.	600	660	630	
16	Volumen de la briqueeta	c.c.	580	570	560	
17	Peso unitario de la briqueeta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.022	2.138	2.109	2.090
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.170	2.170	2.170	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2.6) + (3 * 2 / (7 + 8)) + (4 * 2 / (9 + 10)))$	gr/cc.	2.337	2.337	2.337	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17 / 18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	6.82	1.45	2.80	3.69
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3.7) + (4.9) + (5.11))$	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3.8) + (4.10) + (5.11))$	gr/cc.	2.563	2.563	2.563	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3 * P - 8) + (4 * P - 10))$	gr/cc.	2.546	2.546	2.546	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.27	0.27	0.27	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueeta $(3 + 4) * 17 / 21$	%	75.16	79.49	78.40	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueeta $100 - (25 + 20)$	%	18.02	19.06	18.80	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	24.84	20.51	21.60	22.31
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24 / 100) * (3 + 4)$	%	5.75	5.75	5.75	
29	Relación betún vacíos $(26 / 27) * 100$	%	72.56	92.93	87.03	84.17
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	915	1148	1020	
31	Factor de estabilidad	kg	0.83	0.86	0.86	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	759	882	877	875
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	49	48	44	47
34	Fluencia	m.m.	12.45	12.19	11.18	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	610	810	785	735



Henry Rivadeneyra
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo



TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada

MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena

CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande

TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

PORCENTAJE DE ASFALTO	4%	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	724	724	724	724	724
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2550	2550	2550	2550	2550
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	1870	1861	1900	1870	1859
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3369.9	3360.5	3400.2	3370.4	3358.7
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	680	690	650	680	691
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.206	2.175	2.308	2.207	2.170

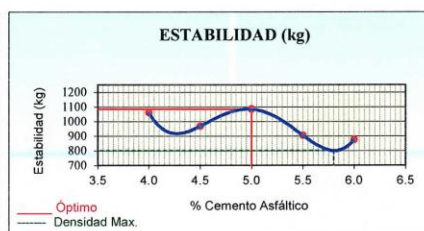
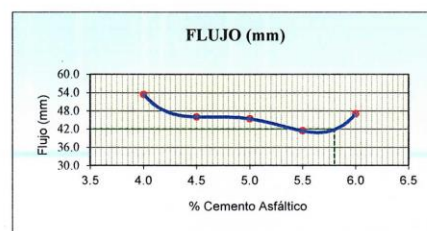
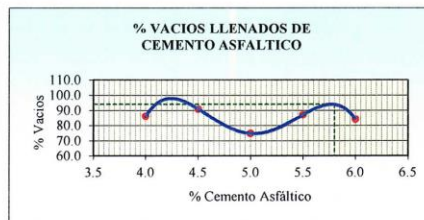
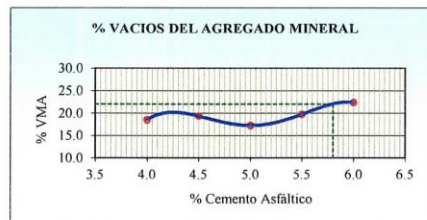
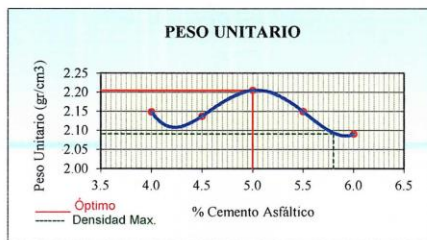

Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT





REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL DISEÑO ASFÁLTICO
 MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
TESISTA : Angulo López Alondra Yacory



RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.8
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.090
Vacios (%)	1.80
Vacios del Agregado mineral (%)	22.00
Vacios Llenados de C.A (%)	94.00
Flujo (mm)	10.67
Estabilidad (Kg)	800
Relación Polvo Asfalto	0.99

Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico coincide del Peso unitario, Vacios con aire y Estabilidad



Angulo López Alondra Yacory
 Rivadeneyra
 Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS VARIANDO EL % DEL PET

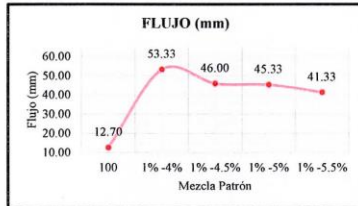
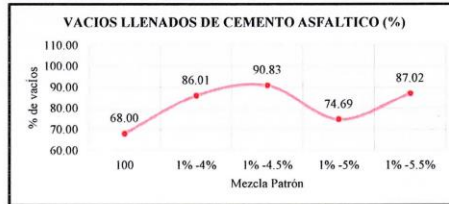
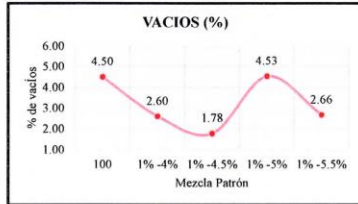
DESCRIPCION : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada

MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena

CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande

TESTISTA : Angulo López Alondra Yacory

RESULTADOS								
Relación Pen-Filler	Peso Unitario (gr/cm ³)	Vacios (%)	Vacios del agregado Mineral (%)	Vacios Llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo
100	2.28	4.50	22.00	68.00	12.70	1755.68	1.23	1809.22
1% -4%	2.15	2.60	18.45	86.01	53.33	1059.33	1.23	786.15
1% -4.5%	2.14	1.78	19.30	90.83	46.00	966.67	1.23	831.43
1% -5%	2.20	4.53	17.21	74.69	45.33	1084.37	1.23	948.17
1% -5.5%	2.15	2.66	19.71	87.02	41.33	903.60	1.23	864.72
1% -6%	2.09	3.69	22.31	84.17	47.00	874.64	1.23	734.96



Henry Rivadeneyra Oblitas
 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



ANEXO N° 3.6: Ensayo de Lottman Modificado



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR (MTC E - 522) (AASTHO T 283)

DESCRIPCION : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada

MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena

CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande

TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Grava	623.12
Arena	775.75
Filler	14.13
Peso de C.A.	87.00
Total	1500.00
Nº de Golpes	45

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	41.54
B Arena	54.90	51.72
C Cemento (Filler)	1.00	0.94
Total	94.20	

Mezcla
Especificaciones IVB

DATOS	#	MUESTRAS SUMERGIDAS				MUESTRAS SECAS			
		1	2	3	Prom.	4	5	6	Prom.
- Número de briqueta									
D Diámetro	cm	10.2	10.2	10.2		10.16	10.16	10.16	
t Espesor	cm	6.9	6.8	6.9		6.6	6.7	6.8	
A Peso de la muestra Seca al Aire	gr	1136.8	1221.4	1108.6	1155.6	1212.6	1233.9	1259.6	1235.4
B SSD de la Muestra	gr	1130.10	1224.80	1111.20		1213.70	1236.60	1261.20	
C Peso de la Muestra en Agua	gr	650.00	678.00	624.00		702.30	677.90	694.10	
E Volumen (B - C)	cc	480.1	546.8	487.2		511.2	558.7	567.1	
F Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/cc	2.368	2.234	2.275	2.3	2.272	2.209	2.221	2.3
G Peso específico teórico máximo (Rice)	gr/cc	2.413	2.413	2.413	2.4	2.413	2.413	2.413	2.4
H % de vacíos ((G - E) / G) * 100	%	1.86	7.42	5.69	5.0	1.69	8.47	7.94	6.0
I Volumen de vacíos ((H/E) / 100)	cc	8.94	40.58	27.73		8.63	47.30	45.05	

Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28° Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C									
B' SSD de la Muestra	gr	1139.27	1228.62	1115.61					
C' Peso de la Muestra en Agua	gr	610.00	595.00	575.00					
E' Volumen de la Muestra (B' - C')	cc	529.3	633.6	540.6					
J' Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	2.5	7.2	7.0					
- Saturación (100 * J' / I)	%	27.6	17.8	25.3					
- Hinchamiento (E' - E) * 100 / E	%	10.24	15.88	10.96					

Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María									
P' Espesor	cm	6.8	6.9	6.7					
B'' SSD de la Muestra	gr	1144.60	1245.20	1172.60					
C'' Peso de la Muestra en Agua	gr	560.00	536.00	545.00					
E'' Volumen (B'' - C'')	cc	584.6	709.2	627.6					
J'' Volumen de Agua de Absorción (B'' - A)	cc	7.8	23.8	64.0					
- Saturación (100 * J'' / I)	%	87.2	58.6	230.8					
- Hinchamiento (E'' - E) * 100 / E	%	19.74	25.63	25.97					
- Carga Máxima Kg	kg	218	111	297		210	224.8	312	
- Carga Máxima N	N	2138.580	1088.910	2913.570	2047.020	2060.100	2205.288	3060.720	2442.0
- Fuerza Tensible KPA	kg/cm2	2.01	1.01	2.78	1.93	1.99	2.10	2.87	2.32

RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TRS) = 83.121%

NOTA:
El valor mínimo aceptado para TSR es de 80%.

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE ENSAYOS DE CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR (MTC E - 522) (AASTHO T 283)

DESCRIPCION : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada

MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena

CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande

TESTISTA : Angulo López Alondra Yacory

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Grava	623.12	
Arena	775.75	
Filler	14.13	
Peso de C.A	87.00	5.80%
PET	15.00	
Total	1515.00	
Nº de Golpes	45	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	41.54
B Arena	54.90	51.72
C Cemento (Filler)	1.00	0.94
D Total		94.20

Mezcla
Especificaciones IVB

DATOS	i	MUESTRAS SUMERGIDAS				MUESTRAS SECAS			
		1	2	3	Prom.	4	5	6	Prom.
D Diámetro	cm	10.2	10.2	10.2		10.16	10.16	10.16	
I Espesor	cm	6.9	6.8	6.9		6.6	6.7	6.8	
A Peso de la muestra Seca al Aire	gr	1120.0	1130.0	1110.0	1120.0	1212.6	1233.9	1259.6	1235.4
B SSD de la Muestra	gr	1110.00	1120.00	1120.00		1213.70	1236.60	1261.20	
C Peso de la Muestra en Agua	gr	590.00	585.00	615.00		702.50	677.90	694.10	
E Volumen (B - C)	cc	520.0	535.0	505.0		511.2	558.7	567.1	
F Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/cc	2.154	2.112	2.198	2.2	2.372	2.209	2.221	2.3
G Peso específico teórico máximo (Rico)	gr/cc	2.791	2.791	2.791	2.8	2.791	2.791	2.791	2.8
H % de vacíos ((G - F) / G) * 100	%	22.84	24.34	21.26	22.8	15.02	20.88	20.43	18.8
I Volumen de vacíos ((H * E) / 100)	cc	118.78	130.20	107.36		76.81	116.68	115.87	

Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28" Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C					
B' SSD de la Muestra	gr	1133.27	1158.62	1131.61	
C' Peso de la Muestra en Agua	gr	560.00	585.00	565.00	
E' Volumen de la Muestra (B' - C')	cc	573.3	573.6	566.6	
J' Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	13.3	28.6	21.6	
- Saturación (100 * J' / I)	%	11.2	22.0	20.1	
- Hinchamiento (E' - E) * 100 / E	%	10.24	7.22	12.20	

Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María					
I' Espesor	cm	6.80	6.90	6.70	
B'' SSD de la Muestra	gr	1134.60	1165.20	1132.60	
C'' Peso de la Muestra en Agua	gr	560.00	536.00	545.00	
E'' Volumen (B'' - C'')	cc	574.6	629.2	587.6	
J'' Volumen de Agua de Absorción (B'' - A)	cc	14.6	35.2	22.6	
- Saturación (100 * J'' / I')	%	12.3	27.0	21.1	
- Hinchamiento (E'' - E) * 100 / E	%	9.52	16.42	14.58	
- Carga Máxima Kg	kg	267	246	235	202
- Carga Máxima N	N	2570.220	2413.260	2305.350	1981.620
- Fuerza Tensible KPA	kg/cm2	2.41	2.23	2.20	2.28

RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TRS) = 93.791%

NOTA:
El valor mínimo aceptado para TSR es de 80%

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE ENSAYO CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
 USAT
 Universidad Católica
 Santo Toribio de Mogrovejo
 TÉCNICO DE LABORATORIO

ANEXO N° 3.7: Ensayo de Módulo Resiliente



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ENSAYO MÓDULO RESILIENTE POR TRACCIÓN INDIRECTA
ASTM D 4123-82 / AASTHO TP31 - INDIRECT TENSILE MODULUS TEST

TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

DATOS DE DISEÑO CONVENCIONAL	
Grava Chancada 1/2"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento	1%
PET	0%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

DATOS DE DISEÑO MODIFICADO	
Grava Chancada 1/2"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento	1%
PET	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

ENSAYO DE MÓDULO DE RESILIENCIA POR TRACCIÓN INDIRECTA			
N° DE BRIQUETA	CONVENCIONAL		
	1 TIPO DE MUESTRA		
2 FRECUENCIA	10 Hz		
COEFICIENTE DE POISSON ESTIMADO	0.35		
3 TEMPERATURA ° C	5° c	25° C	40° C
4 ESPESOR (mm)	65.1	67.9	68.5
5 DEFORMACIÓN HORIZONTAL #1 (µm)	1.689	2.373	2.229
6 DEFORMACIÓN HORIZONTAL #2 (µm)	2.705	1.742	2.111
7 DEFORMACIÓN TOTAL HORIZONTAL RECUPERABLE(µm)	4.394	4.115	4.340
8 FUERZA DE CARGA MÁXIMA (N)	1400	1403	1398
9 MÓDULO RESILIENTE (Mpa)	3034.44	3113.22	2915.54
10 MÓDULO RESILIENTE PROMEDIO(Mpa)	3021.066		

ENSAYO DE MÓDULO DE RESILIENCIA POR TRACCIÓN INDIRECTA			
N° DE BRIQUETA	MODIFICADA		
	1 TIPO DE MUESTRA		
2 FRECUENCIA	10 Hz		
COEFICIENTE DE POISSON ESTIMADO	0.35		
3 TEMPERATURA ° C	5° c	25° C	40° C
4 ESPESOR (mm)	65.9	62.5	65.0
5 DEFORMACIÓN HORIZONTAL #1 (µm)	1.741	1.400	1.603
6 DEFORMACIÓN HORIZONTAL #2 (µm)	1.887	1.754	1.446
7 DEFORMACIÓN TOTAL HORIZONTAL RECUPERABLE(µm)	3.628	3.154	3.049
8 FUERZA DE CARGA MÁXIMA (N)	1389	1391	1395
9 MÓDULO RESILIENTE (Mpa)	3601.98	4374.99	4364.10
10 MÓDULO RESILIENTE PROMEDIO(Mpa)	4113.691		

NOTA:

MÉTODOS DE ENSAYO
- AASHTO TP 31 - 96 STANDARD TEST METHOD FOR DETERMINING THE RESILIENT MODULUS OF BITUMINOUS MIXTURES BY INDIRECT TENSION
- AASHTO T245 RESISTANCE TO PLASTIC FLOW OF BITUMINOUS MIXTURE USING MARSHALL APPARATUS
- AASHTO T283 RESISTANCE OF COMPACTED BITUMINOUS MIXTURE TO MOISTURE DAMAGE
- AASHTO T 312 PREPARING AND DETERMINING THE DENSITY OF ASPHALT MIXTURE SPECIMENS BY MEANS OF THE SUPERPAVE GYRATORY COMPACTOR



ANEXO N° 3.8: Ensayo de Cántabro



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ENSAYO CÁNTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS
 MTC E 515

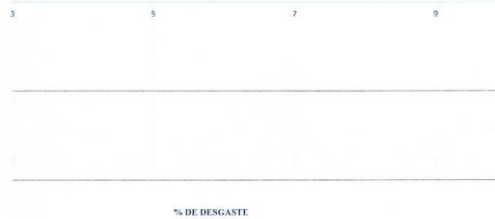
TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
 MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
 CANTERA : Planta Asfalto - Batangrande
 TESISTA : Angulo López Alondra Yacory

DATOS DE DISEÑO CONVENCIONAL	
Grava Chancada 1/2"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento	1%
PET	0%
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70	

DATOS DE DISEÑO MODIFICADO	
Grava Chancada 1/2"	45%
Arena Chancada 1/4"	55%
Cemento	1%
PET	1%
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70	

ENSAYO CÁNTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS								
Nº DE BRIQUETA	TIPO DE MEZCLA	% DE PET	Nº DE REVOLUCIONES	TEMPERATURA °C	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DESGASTE	PROMEDIO
1	CONVENCIONAL	0%	300	NO ESPECIFICADA	1131.82	1064.82	5.92%	3.31%
2	CONVENCIONAL	0%	300	NO ESPECIFICADA	1171.91	1137.95	2.90%	
3	CONVENCIONAL	0%	300	NO ESPECIFICADA	1151.77	1117.71	2.96%	
4	CONVENCIONAL	0%	300	NO ESPECIFICADA	1164.13	1125.23	3.34%	
5	CONVENCIONAL	0%	300	NO ESPECIFICADA	1208.97	1188.10	1.73%	
6	CONVENCIONAL	0%	300	NO ESPECIFICADA	1086.65	1053.66	3.04%	
1	MODIFICADA	1%	300	NO ESPECIFICADA	1202.08	1170.7	2.61%	2.52%
2	MODIFICADA	1%	300	NO ESPECIFICADA	1114.68	1072.8	3.76%	
3	MODIFICADA	1%	300	NO ESPECIFICADA	1145.52	1111.4	2.98%	
4	MODIFICADA	1%	300	NO ESPECIFICADA	1214.49	1192.5	1.81%	
5	MODIFICADA	1%	300	NO ESPECIFICADA	1127.36	1098.64	2.56%	
6	MODIFICADA	1%	300	NO ESPECIFICADA	1322.12	1303.96	1.37%	

DESGASTE PARA MEZCLA ASFÁLTICA



NOTA:
 El ensayo MTC E 515, no deberán ser superiores al 25%, al 25 °C
 El ensayo (MTC E 515), tras ser sometidas las probetas a un proceso de inmersión durante 24 horas a 60°C, no podrá exceder del 40%

Henry Ruedeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



ANEXO N° 4: PANEL FOTOGRÁFICO



