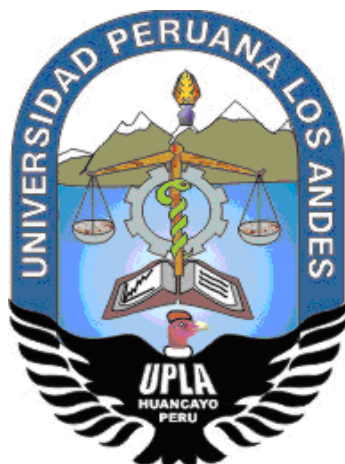


UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON
TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO PARA LA
CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS ASFALTADAS**

PRESENTADO POR:

BACH. PUENTE GANZ, JORGE.

Línea de investigación Institucional:

Transporte y Urbanismo.

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

Huancayo – Perú

2020

Ing. Carlos Gerardo Flores Espinoza.

Asesor

Dedicatoria

- Agradecer primeramente a Dios por darme la vida y salud.
- A mi madre Francisca Ganz por haberme regalado ese preciado tesoro llamado vida y principal fuente de apoyo que hizo alcanzar esta meta.
- A mi padre Jorge Puente por ser mi guía y mi principal fuente de inspiración que me enseñó a persistir en mis sueños hasta alcanzarlos.
- A mis hermanos por ser mis consejeros y ejemplos a seguir que siempre han estado apoyándome en todo momento de mi vida.
- A mi novia Cesia Aranda por ser mi apoyo incondicional, por haberme dedicado tiempo y esfuerzo para culminar esta meta, por ser mi pareja idónea y ejemplo a seguir. Te lo agradezco muchísimo, amor.

Jorge Puente Ganz.

Agradecimiento

- Agradecer a mi alma mater Universidad Peruana los Andes por haberme cobijado en sus aulas durante el tiempo que duro esta larga travesía, permitiéndome así formarme como profesional.
- A los ingenieros, quienes brindaron su tiempo, dedicación y conocimientos durante la vida universitaria.
- A mi Co-asesor Ing. Jhuliana M. Tejeda Burgos e Ing. Rafael Ventura Cepida, por sus valiosos aportes de conocimientos y apoyo incondicional durante el desarrollo de la investigación.

Jorge Puente Ganz.

HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO

Dr. Casio Aurelio Torres López.
Presidente

Ph.D. Mohamed Mehdi Hadi Mohamed.
Jurado

MSc. Julio Cesar Llallico Colca.
Jurado

Ing. Rando Porras Olarte.
Jurado

Mg. Miguel Ángel Carlos Canales.
Secretario docente

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
CAPÍTULO I	16
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	16
1.1. Planteamiento del problema	16
1.2. Formulación y sistematización del problema	18
1.2.1. Problema general	18
1.2.2. Problemas específicos	18
1.3. Justificación	19
1.3.1. Práctica o social	19
1.3.2. Justificación metodológica	19
1.4. Delimitaciones	20
1.4.1. Espacial	20
1.4.2. Temporal	20
1.4.3. Económica	20
1.5. Limitaciones	21
1.6. Objetivos	21
1.6.1. Objetivo general	21
1.6.2. Objetivos específicos	21
CAPÍTULO II	22
MARCO TEÓRICO	22
2.1. Antecedentes	22
2.1.1. Antecedentes internacionales	22
2.1.2. Antecedentes nacionales	24
2.2. Marco conceptual	27
2.2.1. Mezclas asfálticas	27
2.2.2. Clasificación de las mezclas asfálticas	28
2.2.3. Componentes de la mezcla asfáltica en caliente	29

2.2.4. Propiedades consideradas en las mezclas asfálticas	30
2.2.5. Características y comportamiento de la mezcla asfálticas	32
2.2.6. Mezcla asfáltica modificada	34
2.2.7. Métodos de modificación de la mezcla asfáltica	34
2.2.8. Polímeros utilizados en mezcla asfáltica modificada	34
2.2.9. Mezcla asfáltica modificado con polímero tipo plastómeros	36
2.2.10. Mezclas asfálticas con botellas de plástico reciclado	36
2.2.11. Diseño de mezclas asfáltica en caliente mediante el método Marshall	36
2.2.12. Metodología del diseño Marshall de mezclas asfálticas	37
2.2.13. Procedimiento del ensayo Marshall	38
2.2.14. Requisitos establecidos para el diseño de mezcla asfáltica en caliente	40
2.2.15. Tereftalato de polietileno (PET)	41
2.2.16. Propiedades y características del PET	41
2.2.17. Ventajas y desventajas del PET	42
2.3. Definición de términos	43
2.4. Hipótesis	45
2.4.1. Hipótesis general	45
2.4.2. Hipótesis específicas	45
2.5. Variables	45
2.5.1. Definición conceptual de la variable	45
2.5.2. Definición operacional de la variable	46
2.5.3. Operacionalización de la variable	46
CAPITULO III	47
METODOLOGÍA	47
3.1. Método de investigación	47
3.2. Tipo de investigación	47
3.3. Nivel de investigación	47
3.4. Diseño de investigación	48
3.5. Población y muestra	48
3.5.1. Población	48

3.5.2. Muestra	49
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	49
3.6.1. Técnicas	49
3.6.2. Instrumentos	49
3.6.3. Materiales	50
3.7. Procesamiento de la información	55
3.8. Técnicas y análisis de datos	55
3.8.1. Organización de los datos	56
3.8.2. Análisis de datos	56
CAPÍTULO IV	57
RESULTADOS	57
4.1. Desempeño estructural de mezcla asfáltica con escamas de PET reciclado	57
4.1.1. Estabilidad	62
4.1.2. Flujo	63
4.1.3. Rigidez	64
4.2. Durabilidad de mezcla asfáltica con escamas de PET reciclado	66
4.3. Costo de mezcla asfáltica con escamas de PET reciclado	68
4.3.1. Cantidad potencial de PET para carreteras asfaltadas	71
4.4. Prueba hipótesis	71
4.4.1. Pruebas de hipótesis específicas	73
4.4.2. Prueba de hipótesis general	77
CAPÍTULO V	80
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	80
5.1. Desempeño estructural de mezcla asfáltica con escamas de PET reciclado	80
5.2. Durabilidad de mezcla asfáltica con escamas de PET reciclado	83
5.3. Costo de mezcla asfáltica con escamas de PET reciclado	84
CONCLUSIONES	86
RECOMENDACIONES	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
ANEXOS	92

ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA	93
ANEXO N° 02: FICHAS TÉCNICAS	95
ANEXO N° 03: ENSAYOS EN LABORATORIO	98
ANEXO N° 03.01: Caracterización de agregados	99
ANEXO N° 03.02: Diseño de mezcla asfáltica convencional en caliente según el método Marshall	105
ANEXO N° 03.03: Diseño de mezcla asfáltica en caliente con 1 % de PET según el método Marshall	113
ANEXO N° 03.04: Diseño de mezcla asfáltica en caliente con 3 % de PET según el método Marshall	121
ANEXO N° 03.05: Diseño de mezcla asfáltica en caliente con 5 % de PET según el método Marshall	129
ANEXO N° 03.06: Diseño de mezcla asfáltica en caliente con 7 % de PET según el método Marshall	137
ANEXO N° 03.07: Ensayo de Cántabro	145
ANEXO N° 04: CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN	151
ANEXO N° 05: PANEL FOTOGRÁFICO	154

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipo de cemento asfáltico según penetración.	29
Tabla 2. Gradación de mezclas asfálticas en caliente.	37
Tabla 3. Requisitos del diseño Marshall para mezcla asfáltica en caliente	40
Tabla 4. Vacíos mínimos en el agregado mineral.	40
Tabla 5. Operacionalización de las variables:	46
Tabla 6. Muestreo para los ensayos.	48
Tabla 7. Proceso del ensayo empleando el aparato Marshall.	52
Tabla 8. Proceso del ensayo Cántabro para desgaste de mezcla asfáltica.	54
Tabla 9. Componentes para ensayo Marshall MAC – Convencional.	57
Tabla 10. Componentes para el Marshall MAC modificado con 1% de PET reciclado.	58
Tabla 11. Componentes para el Marshall MAC modificado con 3 % de PET reciclado.	58
Tabla 12. Componentes para el Marshall MAC modificado con 5 % de PET reciclado.	58
Tabla 13. Componentes para el Marshall MAC modificado con 7 % de PET reciclado.	59
Tabla 14. Resultados del ensayo Marshall MAC – Convencional.	59
Tabla 15. Resultados del ensayo Marshall MAC modificado con 1 % de PET reciclado.	60
Tabla 16. Resultados del ensayo Marshall MAC modificado con 3 % de PET reciclado.	60
Tabla 17. Resultados del ensayo Marshall MAC modificado con 5 % de PET reciclado.	61
Tabla 18. Resultados del ensayo Marshall MAC modificado con 7 % de PET reciclado.	61
Tabla 19. Estabilidad de la mezcla asfáltica convencional y mezclas modificadas.	62
Tabla 20. Flujo de la mezcla asfáltica convencional y mezclas modificadas.	63

Tabla 21. Rigidez de la mezcla asfáltica convencional y mezclas modificadas.	64
Tabla 22. Resultados del ensayo Cántabro MAC convencional.	66
Tabla 23. Resultados del ensayo Cántabro MAC modificado con 1 % de PET reciclado.	66
Tabla 24. Resultados del ensayo Cántabro MAC modificado con 3 % de PET reciclado.	66
Tabla 25. Resultados del ensayo Cántabro MAC modificado con 5 % de PET reciclado.	66
Tabla 26. Resultados del ensayo Cántabro MAC modificado con 7 % de PET reciclado.	67
Tabla 27. Pérdida por desgaste MAC convencional y modificado.	67
Tabla 28. Análisis de precios unitarios del MAC convencional.	68
Tabla 29. Análisis de precios unitarios MAC modificado PET 1.00 %.	69
Tabla 30. Precio costo ejecución por m ² .	70
Tabla 31. Número de botellas para la producción de mezcla asfáltica por km.	71
Tabla 32. Normalidad de los datos de estabilidad de las mezclas asfálticas.	71
Tabla 33. Normalidad de los datos de flujo de las mezclas asfálticas.	72
Tabla 34. Normalidad de los datos de rigidez de las mezclas asfálticas.	72
Tabla 35. Normalidad de los datos de pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas.	72
Tabla 36. Normalidad de los costos de las mezclas asfálticas.	72
Tabla 37. ANOVA para la hipótesis específica A.	73
Tabla 38. Prueba post hoc Tukey para la comparación de grupos de desempeño estructural.	74
Tabla 39. Kruskal – Wallis para la hipótesis específica B.	75
Tabla 40. Comparación de grupos de durabilidad.	76
Tabla 41. Kruskal - Wallis para la hipótesis específica C.	77
Tabla 42. Resumen de prueba de hipótesis A, B y C.	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. La sorprendente realidad de la contaminación del plástico.	16
Figura 2. Red vial nacional pavimentada proyectada al 2021.	17
Figura 3. Ubicación del laboratorio de asfalto.	20
Figura 4. Clasificación de la mezcla asfáltica por fracciones de agregado pétreo.	28
Figura 5. Clasificación de la mezcla asfáltica por la temperatura de puesta en obra.	28
Figura 6. Clasificación de la mezcla asfáltica por la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica.	29
Figura 7. Ilustración del VMA en una probeta de mezcla compactada.	33
Figura 8. Clasificación de polímeros.	35
Figura 9. Tereftalato de polietileno - compuesto químico	41
Figura 10. Símbolo de identificación del PET	41
Figura 11. Ventajas del PET.	43
Figura 12. Desventajas del PET.	43
Figura 12. Cantera Tres de Diciembre.	50
Figura 13. Producción de piedra chancada de 1/2" y arena chancada.	50
Figura 14. Planta de reciclaje "S PLAST E.I.R.L".	51
Figura 15. Obtención de escamas de PET.	51
Figura 17. Estabilidad de la mezcla asfáltica convencional y mezclas modificadas con PET reciclado.	63
Figura 18. Flujo de la mezcla asfáltica convencional y mezclas modificadas con PET reciclado.	64
Figura 19. Rigidez de la mezcla asfáltica convencional y mezclas modificadas.	65
Figura 20. Ensayo de Cántabro MAC convencional - modificado	68
Figura 21. Costo ejecución MAC convencional y modificado PET 1 %	70

RESUMEN

La presente investigación tuvo como problema general: ¿Cuál es el resultado del análisis técnico – económico de mezclas asfálticas con tereftalato de polietileno reciclado para la construcción de carreteras asfaltadas?, el objetivo general fue: Analizar técnica y económicamente a las mezclas asfálticas con tereftalato de polietileno reciclado para la construcción de carreteras asfaltadas y la hipótesis general que se verificó fue: Del análisis técnico – económico de mezclas asfálticas con tereftalato de polietileno reciclado, se tiene que éste mejora el desempeño estructural y la durabilidad, además de no variar significativamente el costo para la construcción de carreteras asfaltadas.

El método general de investigación fue el científico, el tipo de investigación fue aplicada de nivel correlacional y el diseño fue experimental. La población correspondió a 100 especímenes de mezcla asfáltica convencional y modificada con escamas PET de botellas de plástico; para la muestra no se aplicó técnica de muestreo pues comprendió a la totalidad de la población.

Como conclusión principal se obtuvo que, del análisis técnico – económico de mezclas asfálticas en caliente con tereftalato de polietileno reciclado, se tiene que este incide positivamente en el desempeño estructural y durabilidad, además de no variar significativamente el costo para la construcción de carreteras asfaltadas; bajo un contenido óptimo de 1 % de escamas PET en relación al agregado fino.

Palabras clave: mezcla asfáltica, tereftalato de polietileno reciclado, carreteras.

ABSTRACT

The present investigation had as a general problem: What is the result of the technical-economic analysis of asphalt mixtures with recycled polyethylene terephthalate for the construction of asphalt roads? The general objective was: To analyze technically and economically the recycled polyethylene terephthalate asphalt mixtures for the construction of asphalt roads and the general hypothesis that was verified was: From the technical-economic analysis of recycled polyethylene terephthalate asphalt mixtures, it must be noted that this has a significant impact on the structural performance and durability, in addition to not vary significantly the cost for the construction of asphalt roads

The general research method was scientific, the type of research was applied at an explanatory level and the design was experimental. The population corresponded to 100 specimens of conventional and modified asphalt mix with PET flakes from plastic bottles; no sampling technique was applied to the sample since it comprised the entire population.

As a main conclusion, it was obtained that, from the technical-economic analysis of hot asphalt mixtures with recycled polyethylene terephthalate, this has a significant impact on the structural performance and durability, besides not varying significantly the cost for the construction of asphalt roads; under an optimum content of 1% of PET flakes in relation to fine aggregate.

Keywords: asphalt mix, recycled polyethylene terephthalate, roads.

INTRODUCCIÓN

La presente tesis titulada: Análisis técnico – económico de mezclas asfálticas con tereftalato de polietileno reciclado para la construcción de carreteras asfaltadas; surge a partir de la necesidad de mejorar el desempeño estructural y durabilidad de la mezcla asfáltica en caliente, lo cual se ve plasmado en el cumplimiento del tiempo de vida útil de la vía, para lo cual se busca no variar el costo de ejecución, situación por la cual se consideró a las escamas de tereftalato de polietileno reciclado en 1, 3, 5 y 7 % parcial en función al agregado fino; para ello, se utilizó el diseño Marshall para la mezcla asfáltica convencional y mezclas asfálticas modificadas, prosiguiendo a compararlas en su estabilidad, flujo, rigidez, pérdida por desgaste y costo, además de las consideraciones del manual de carreteras: especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras (MTC, 2013), obteniéndose así el porcentaje óptimo de PET.

El desarrollo de este estudio está compuesto por 5 capítulos, los cuales son:

El Capítulo I: Problema de investigación, considera el planteamiento del problema, la formulación y sistematización del problema, la delimitación de la investigación, la justificación, las limitaciones y los objetivos.

El Capítulo II: Marco teórico, establece los antecedentes de la investigación, el marco conceptual, la definición de términos, las hipótesis y variables.

El Capítulo III: Metodología de la investigación, donde se explica el método de investigación, tipo de investigación, nivel, diseño, la población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de información, el procesamiento de la información y las técnicas y análisis de datos.

El Capítulo IV: Resultados, acorde a los objetivos y las hipótesis.

El Capítulo V: Discusión de resultados, en relación a los antecedentes y demás bibliografía.

Finalmente se tiene las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

Bach. Puente Ganz, Jorge.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En el mundo la producción en masa de plásticos, inició hace seis décadas, acelerando su producción, generando aproximadamente 8.3 mil millones de toneladas métricas de este producto, siendo la mayoría desechables y tan sólo un 9 % es reciclado; además, es dable mencionar que, a nivel global se producen aproximadamente 12 millones de toneladas de tereftalato de polietileno (PET) anualmente (Greenpeace, 2018).



Figura 1. La sorprendente realidad de la contaminación del plástico.
Fuente: Vives (2018).

Del mismo modo, en el Perú, la producción de botellas de plástico (PET) son unos 3 500 millones de botellas anualmente, de las cuales, sólo el 50 % son recicladas, menciona Albina Ruiz, de la ONG Ciudad Saludable, que este porcentaje de reciclaje sea tan pequeño conlleva a ser un gran problema, pues la contaminación causada por el uso de materiales descartables que no son reutilizados corresponde una de las mayores fuentes de gases de efecto invernadero (ProActivo, 2018).

Otra de las problemáticas corresponde a la carencia de carreteras pavimentadas para interconectar íntegramente al país para desarrollar el mercado interno y externo lo cual hace que sean infraestructuras muy importantes que ayuden al país en su desarrollo económico, cultural y tecnológico.

De acuerdo con la información del Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Oficina General de Planeamiento y Presupuesto – Oficina de Estadística (MTC - OGPP - OE), la infraestructura vial existente del sistema nacional de carreteras, según superficie de rodadura hasta el año 2018, poseen 26 916 km de carreteras pavimentadas, de un total de 168 473 km, esto equivale a sólo 15.9 % de avance, pues los 141 557.1 km son carreteras no pavimentadas (MTC, 2019).

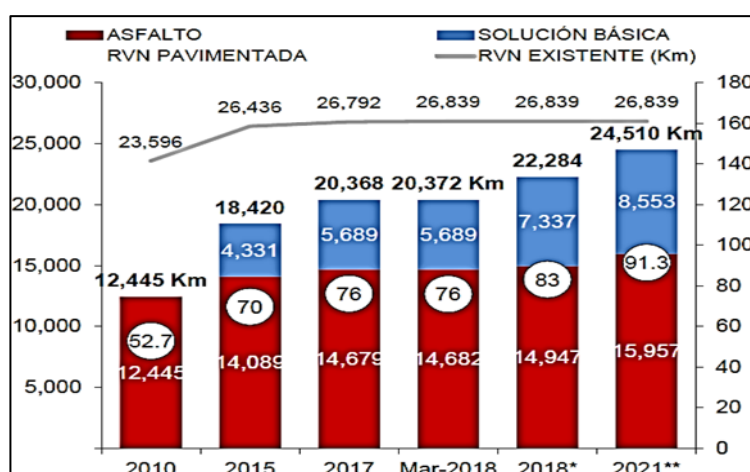


Figura 2. Red vial nacional pavimentada proyectada al 2021.
Fuente: MTC (2019).

Es así que, una carpeta asfáltica realizada con incorporación de PET reciclado proveniente de las botellas de plástico se presenta como una solución sostenible en la construcción de carreteras y otro tipo de caminos.

Además de suponer una interesante opción de reciclaje para este tipo de residuo plástico (Almudena, 2017).

Por lo expuesto anteriormente se hace imprescindible realizar una investigación que se oriente en el diseño y experimentación de la mezcla asfáltica modificada con incorporación de escamas de PET reciclado proveniente de las botellas, con el fin de que el producto obtenido tenga algún uso en la pavimentación de vías, consiguiendo con esto dar una alternativa de solución a los problemas mencionados. Esto se da en la búsqueda de nuevas tecnologías que certifiquen mayor durabilidad, resistencia y menores costos, además, de proteger el medio ambiente como parte de ello.

1.2. Formulación y sistematización del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el resultado del análisis técnico – económico de mezclas asfálticas con tereftalato de polietileno reciclado para la construcción de carreteras asfaltadas?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿De qué manera las escamas de tereftalato de polietileno reciclado inciden en el desempeño estructural de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas?
- b) ¿Cuál es la influencia de las escamas de tereftalato de polietileno reciclado en la durabilidad de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas?
- c) ¿En qué medida las escamas de tereftalato de polietileno reciclado varían el costo de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas?

1.3. Justificación

1.3.1. Práctica o social

La presente investigación se justifica en la necesidad de obtener una mezcla asfáltica modificada con escamas de tereftalato de polietileno (PET) reciclado que presente un comportamiento aceptable de similar performance y óptimo diseño en relación a una mezcla asfáltica convencional, siendo así que se cambió el agregado fino necesario para la mezcla asfáltica, por la reutilización de un producto que se convertirá en un residuo, el PET; además, se buscó que el costo de la producción no sea tan variable respecto a la mezcla convencional.

El propósito de usar tereftalato de polietileno (PET) reciclado recae en dar una aplicación a los desechos provenientes de botellas plásticas los cuales son una fuente de contaminación ambiental; además de promover el reciclado, pues se incrementaría de la demanda del mismo por la utilización parcial en mezclas asfálticas en caliente.

1.3.2. Justificación metodológica

Los instrumentos que se utilizó para el desarrollo de esta investigación tanto para la recopilación la información, análisis de datos, así como la metodología servirá para investigaciones experimentales posteriores relacionadas con el análisis técnico y económico de mezclas asfálticas con escamas de tereftalato de polietileno reciclado para la construcción de carreteras asfaltadas, las mismas que podrán realizar variaciones de contenido de PET en función al óptimo contenido obtenido en esta investigación.

1.4. Delimitaciones

1.4.1. Espacial

La investigación se desarrolló para el área de la ciudad de Huancayo departamento de Junín; no obstante, los ensayos correspondientes se realizaron en el laboratorio de asfalto de la empresa “Constructora Ingenieros y Arquitectos Asesores Santa Cruz SCRL”, ubicándose en el distrito y provincia de Concepción, del departamento de Junín.



Figura 3. Ubicación del laboratorio de asfalto.
Fuente: Google Earth (2020).

1.4.2. Temporal

La investigación se realizó durante los meses de marzo a diciembre de 2019 y de enero a julio de 2020.

1.4.3. Económica

Los gastos de la investigación fueron asumidos en su totalidad por el tesista; siendo así que, no se percibió ningún financiamiento externo.

1.5. Limitaciones

No se contó con el equipo para la realización de la Rueda Cargada de Hamburgo, por no ser accesible en la región; no obstante, se realizó los principales ensayos establecidos por la normativa del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, siendo los mínimos requeridos para determinar el comportamiento de la mezcla asfáltica en caliente.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Analizar técnica y económicamente a las mezclas asfálticas con tereftalato de polietileno reciclado para la construcción de carreteras asfaltadas.

1.6.2. Objetivos específicos

- a) Determinar de qué manera las escamas de tereftalato de polietileno reciclado inciden en el desempeño estructural de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas.
- b) Establecer la influencia de las escamas de tereftalato de polietileno reciclado en la durabilidad de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas.
- c) Determinar en qué medida las escamas de tereftalato de polietileno reciclado varían el costo de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Ortiz (2017) en su tesis titulada “Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método de Marshall”, el objetivo fue comparar las propiedades físicas y mecánicas de una mezcla asfáltica tradicional con otra adicionado PET como agregado; en primera instancia, estableció proporciones de sus agregados, realizando después un diseño con la mezcla asfáltica convencional para compararlo con la mezcla modificada con tereftalato de polietileno (PET), fue así que estableció una serie de briquetas con distintos contenidos de cemento asfáltico, desde 4 % hasta 6 % (con incrementos de 0.5 %) del peso total de la mezcla de agregados; asimismo, preparó tres probetas para cada contenido de asfalto, donde utilizó 1 050 g de mezcla de agregados, tomando un 5 % de PET (respecto al peso total de los agregados) para el diseño de mezcla asfáltica no tradicional; de acuerdo a los

ensayos que realizó obtuvo que el cemento asfáltico para la mezcla asfáltica convencional, con respecto al porcentaje de vacíos, se encuentra dentro de los límites proporcionales del rango de 5.2 a 6 %, estando acorde a los límites que se establece en la sección 401 del “Libro Azul”; asimismo, menciona que conforme se incrementa la cantidad de cemento asfáltico, va disminuyendo la presencia de vacíos en la mezcla; además que, según el valor mínimo de estabilidad Marshall (1 200 lbf), que debe soportar una probeta de mezcla compactada el máximo valor de estabilidad fue de 4.6 % de bitumen. En relación al diseño de mezcla asfáltica con PET, el porcentaje de vacíos obtenidos no se encuentra dentro de los límites determinados, siendo de 3 a 5 %, no cumpliendo con los parámetros, pues la adición de tereftalato actúa como un porcentaje de vacíos adicional en la mezcla.

Berrío (2017) en su tesis titulada “Diseño y evaluación del desempeño de una mezcla asfáltica tipo MSC-19 con incorporación de tereftalato de polietileno reciclado como agregado constitutivo”, estableció como objetivo el diseñar una mezcla asfáltica semidensa tipo MSC-19, con incorporación de partículas de plástico reciclado como agregado adicional para evaluar el efecto sobre las propiedades mecánicas y el desempeño de la misma, primero diseñó una mezcla patrón de un asfalto tradicional mediante el método Marshall, para controlar parámetros mecánicos y volumétricos, de diversas dosificaciones y tamaños de PET dentro de la mezcla asfáltica, luego realizó pruebas de laboratorio tal como la resistencia a la deformación plástica mediante la prueba de Pista; asimismo, realizó la prueba de tracción indirecta para determinar el módulo resiliente de las mezclas, a fin de generar una propuesta de dosificación, obteniendo así el 1 % el óptimo contenido de PET con tamaño inferior a 2 mm. De acuerdo a los ensayos realizados obtuvo como resultado de estabilidad 1367.9 kg, flujo 3.4 mm, un incremento de 37 % en el módulo resiliente y una disminución de

42 % en la velocidad de deformación plástica, lo cual lo hace menos probable de ser susceptible a fenómenos de ahuellamiento, llegando a la conclusión que el PET triturado, incide positivamente en el desempeño de la mezcla asfáltica en caliente.

Ramírez, Vidal y Grajales (2014) en su tesis titulada “Incorporación de tereftalato de polietileno como agente modificador en el asfalto”, establecieron como objetivo determinar qué propiedades de las mezclas asfálticas en caliente se mejora con la utilización del tereftalato de polietileno (PET); para ello realizaron ensayos de comportamiento mecánico de los agregados, posteriormente procedieron a analizar la penetración, el punto de ablandamiento, la viscosidad y la durabilidad del asfalto, mediante el método Marshall. Luego plantearon variaciones de PET en 3, 5 y 7 % de la masa total del asfalto y basándose en estudios anteriores también plantearon variaciones de PET en 5, 8 y 11 %; analizando así la estabilidad y flujo de la mezcla modificada. Como resultado obtuvieron que, la cantidad de asfalto a utilizar en la mezcla es de 5 %, para los contenidos de PET de 3, 5 y 7 %; como resultados obtuvieron que, se modificó el cemento asfáltico, provocando que el material se aglutinara en el fondo del recipiente, siendo este no adecuado para lograr una mezcla homogénea; situación por la cual optaron en utilizar el PET como parcial de arena en 5, 8 y 11 %, lo cual alteró el comportamiento de la mezcla modificada considerablemente, mejorando la estabilidad en un 79 % bajo un 5 % de PET; sin embargo, se dio un incremento de la deformación de la mezcla con la utilización del 8 % de PET.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Corbacho (2019) en su tesis titulada “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", consideró como objetivo verificar la estabilidad Marshall y la deformación permanente mediante el ensayo de rueda cargada de Hamburgo de una mezcla asfáltica modificada en caliente con reemplazo parcial de agregado fino por fibras de tereftalato de polietileno reciclado (PET), para ello primero realizó el análisis granulométrico siendo con lo estipulado en el Manual de Carreteras: especificaciones técnicas generales para construcción, EG-2013, a partir de las proporciones de agregados obtenido, sustituyó el agregado fino por fibras PET en 0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 1.7, 2 y 4 %, procediendo con el diseño mediante el método Marshall obteniendo así el contenido óptimo de cemento asfalto para la mezcla asfáltica y luego procedió a modificar la mezcla asfáltica adicionando fibras de PET por sustitución de agregado fino en vía seca con el fin de obtener el contenido óptimo de fibras de PET. Después de obtener el contenido óptimo de cemento asfáltico y de fibras PET, realizó el ensayo de rueda cargada de Hamburgo con el fin de determinar el comportamiento ante ahuellamiento y susceptibilidad a la humedad de las mezclas asfálticas. Como resultados, obtuvo que el porcentaje óptimo de asfalto en la mezcla convencional y modificado fue de 6.15 %, obteniendo una estabilidad de 938 kg y flujo de 13.8 (0.25 mm) y un contenido óptimo de fibras PET de 1.2 %, con estabilidad de 856.3 kg y un flujo de 14.7 (0.25 mm); asimismo, detalla que la estabilidad de la mezcla asfáltica modificada disminuye en 9.6 % en relación a la mezcla asfáltica convencional y el flujo se incrementó en 6.52 % también en relación a la mezcla convencional. En cuanto al ensayo de rueda cargada de Hamburgo, la mezcla asfáltica convencional resistió 6 166 pasadas, mientras la modificada con fibras PET soportó 7 660 pasadas, no cumpliendo ambas con el requerimiento mínimo de 20 000 pasadas; asimismo, la resistencia a la susceptibilidad a la

deformación permanente en la mezcla asfáltica modificada se incrementó en 24 %.

Tueros (2017) en su tesis titulada “Incorporación de polvo de caucho en mezcla asfáltica convencional para mejorar el comportamiento de la superficie de rodadura frente al ahuellamiento en la ciudad de Huancayo 2016”, siendo su objetivo determinar el comportamiento de la superficie de rodadura ante el ahuellamiento; para ello realizó 60 briquetas de mezcla convencional y modificada con polvo de caucho al 1, 2 y 3% respecto al peso total de la muestra siguiendo el diseño Marshall y utilizando cemento asfáltico PEN 85/100; adicional a ello, elaboró 20 briquetas para el ensayo de cántabro y dos paños de prueba (de 1 x 1 m y espesor de 2”) para medición del ahuellamiento; de los ensayos realizados obtuvo que el porcentaje óptimo de cemento asfáltico fue de 6.1 % tanto para la mezcla convencional y modificado y óptimo de polvo de caucho de 1 %, obteniendo una estabilidad de 1 015.00 kg, flujo de 3.90 mm y rigidez de 2 643.00 kg/cm; asimismo, mostró que la mezcla modificada presentó una estabilidad de 1 106.00 kg, flujo de 4.10 mm y rigidez de 2 513 kg/cm. En cuanto al ensayo de cántabro, la pérdida por desgaste de la mezcla asfáltica convencional se dio en 52.30 %, mientras la mezcla modificada con polvo de caucho presentó un 20.56 %, obteniendo así una depresión de ahuellamiento de 6.6 cm para la mezcla convencional frente a 2.2 cm de la mezcla modificada; entonces llegó a concluir que, con la incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica se mejora el comportamiento de la superficie de rodadura frente al ahuellamiento, pues se presenta una influencia en la estabilidad de 85 %, en el flujo de 87 %, en el índice de rigidez de 97 %, durabilidad en 57 % y en deformación plástica en 66.67 %.

Silvestre (2017) en su tesis titulada “Comparación técnica y económica entre las mezclas asfálticas tradicionales y reforzadas

con plástico reciclado en la ciudad de Lima - 2017”, siendo el objetivo principal mejorar las propiedades físicas y estructurales de la carpeta de rodadura modificada con plástico reciclado en comparación con el asfalto convencional; para esto, realizó grupos de ensayos utilizando cemento asfáltico PEN 60/70, diseñando mezclas asfálticas con cemento asfáltico de 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 y 6.5 %; asimismo, consideró un grupo de control de mezcla asfáltica convencional y un grupo de comparación con mezcla asfáltica modificada con plástico reciclado con 1 % de plástico molido usado como filler. Como resultados obtuvo que, el porcentaje óptimo de cemento asfáltico para la mezcla convencional fue 5.6 % y para la mezcla modificada fue 6.5 %; siendo así que para esta última se presentó un aumento de estabilidad en 3.11 %, indicando mayor resistencia a deformaciones permanentes, además obtuvo un reducción en el flujo, lo cual indica que aporta en la elasticidad y rigidez frente a deformaciones; asimismo, en el índice de rigidez observó una mejora en 4.49 %. Por último, concluye que, el costo total de producción por metro cúbico de mezcla asfáltica adicionado con plástico reciclado es más económico en comparación al costo de la mezcla asfáltica convencional.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Mezclas asfálticas

Es una combinación de agregados minerales pétreos mediante un ligante asfáltico bajo proporciones exactas, a fin que los agregados queden cubiertos por una capa uniforme de asfalto; las propiedades de cada material componente determinan las propiedades físicas y el comportamiento funcional de la mezcla asfáltica, su empleo es en la construcción de carreteras, ya sea como capa de rodadura o en capas inferiores, su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica, facilitando la circulación de los vehículos además de

transmitir suficientemente las cargas debidas al tráfico a las capas inferiores para su soporte (Asphalt Institute, 1992).

2.2.2. Clasificación de las mezclas asfálticas

a) Por fracciones de agregado pétreo

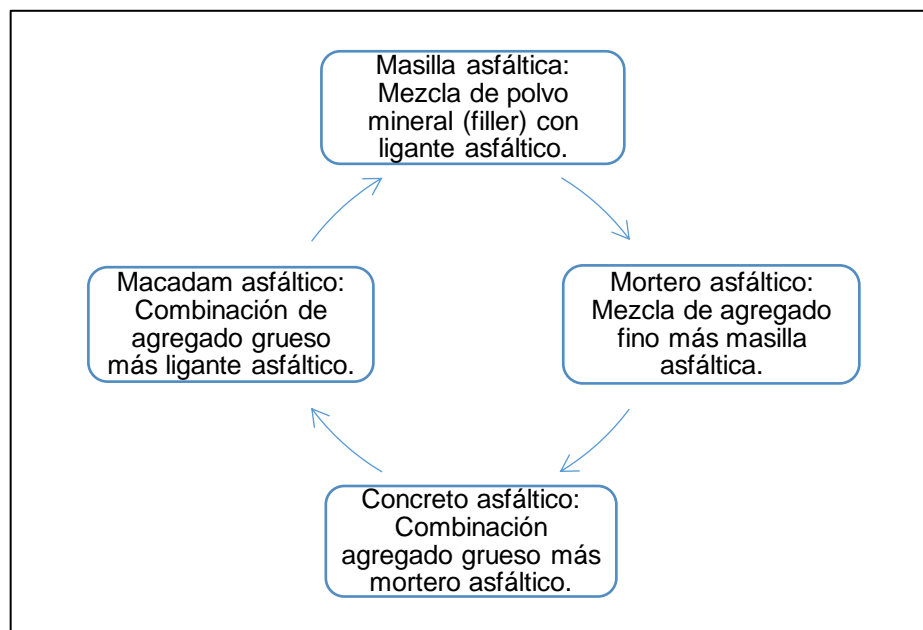


Figura 4. Clasificación de la mezcla asfáltica por fracciones de agregado pétreo. Fuente: Padilla (2004).

b) Por la temperatura de puesta en obra

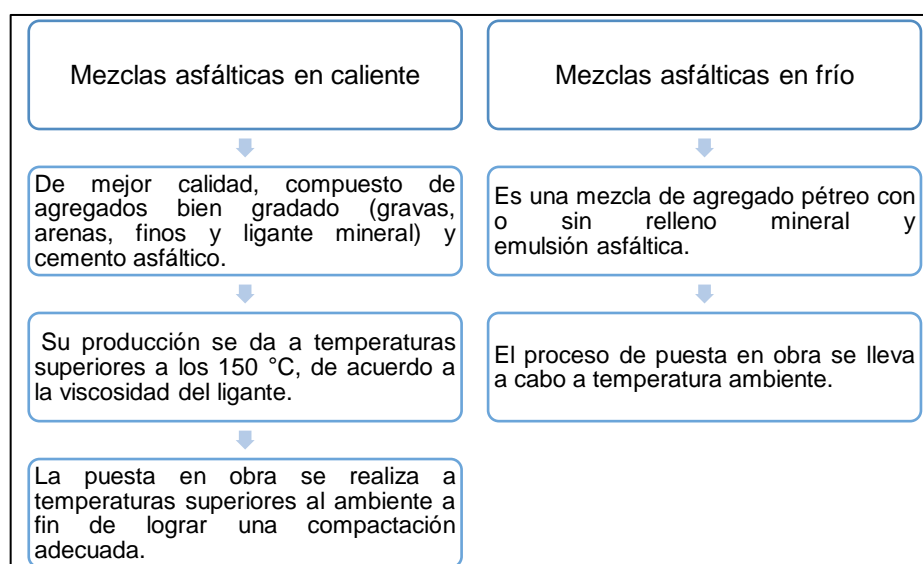


Figura 5. Clasificación de la mezcla asfáltica por la temperatura de puesta en obra. Fuente: Padilla (2004).

c) Por la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica

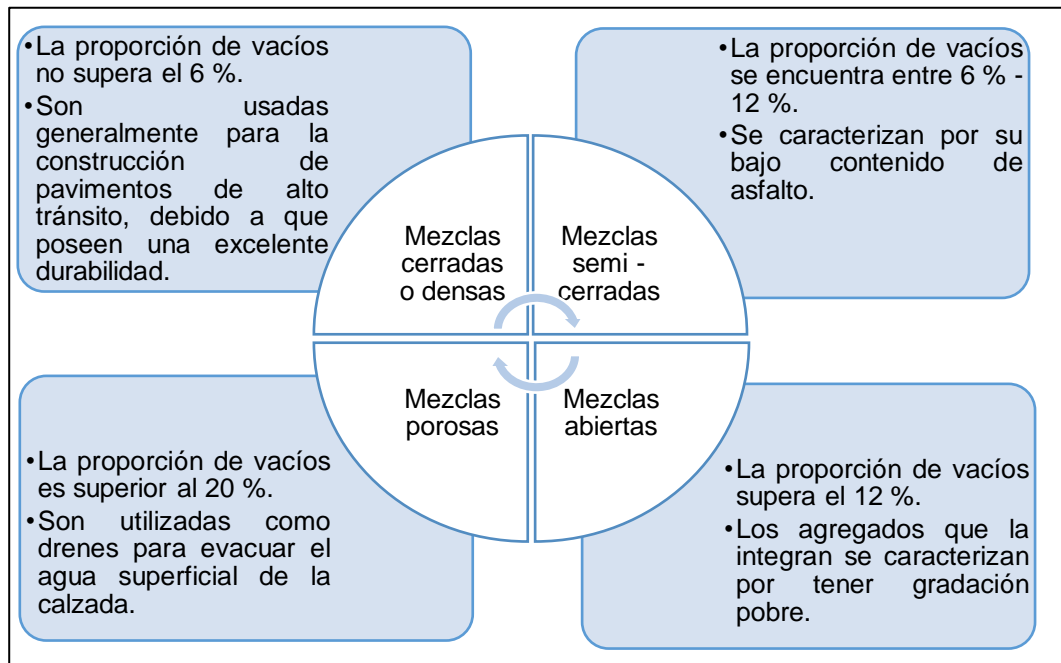


Figura 6. Clasificación de la mezcla asfáltica por la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica.

Fuente: Padilla (2004).

2.2.3. Componentes de la mezcla asfáltica en caliente

a) Cemento asfáltico

Es un material bituminoso aglomerante de consistencia sólida, del cual se dispone de cinco grados acorde a la temperatura, siendo: PEN 40-50, PEN 60-70, PEN 85-100, PEN 120-150, PEN 200-300 (MTC, 2013).

Tabla 1. Tipo de cemento asfáltico según penetración.

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

Fuente: Asphalt Institute (1992).

b) Agregados

Según Ballena (2016), los agregados pétreos empleados para la producción de la mezcla asfáltica deben ser tal que, al aplicar una capa del material asfáltico no se desprenda por acción del agua ni

del tránsito. Además, señala que este agregado estará compuesto por granos gruesos, finos y un relleno mineral (filler), cumpliendo con granulometrías adecuadas:

- Agregado grueso: Constituidos por piedras, grava fracturada ya sea natural o artificial y de forma eventual por materiales naturales fracturados o muy angulosos y con textura superficial rugosa, quedan retenidos en la malla N° 04 y deben ser limpios; es decir, sin recubrimiento de arcilla u otros agregados de material fino.
- Agregado fino: Es aquel material que pasa la malla N° 04, debe ser obtenido por la trituración de piedras, gravas o arenas naturales de granos angulosos. Al igual, debe estar limpio, cuyas partículas no estén cubiertas de arcilla limosa ni otras sustancias perjudiciales; además, no debe contener aglutinaciones de arcilla u otros de material fino, lo cual impedirá la no adhesión del asfalto.
- Relleno mineral o filler: Proviene de los procesos de trituración de los agregados pétreos, pudiendo ser de aporte de productos comerciales, como cal hidratada o cemento Pórtland, partículas muy finas de caliza u otra sustancia mineral no plástica, las cuales deben estar secas y sin aglutinaciones.

2.2.4. Propiedades consideradas en las mezclas asfálticas

Según el Asphalt Institute (1992), las propiedades que aportan a la calidad de los pavimentos de mezclas en caliente, incluyen la estabilidad, durabilidad, impermeabilidad, trabajabilidad, flexibilidad, resistencia a la fatiga y resistencia al deslizamiento; siendo el detalle de los mismos:

a) Estabilidad

Capacidad de soportar desplazamientos y deformación por las cargas de tráfico, depende directamente de la fricción, en relación a las características de los agregados, y la cohesión interna en la mezcla, resultante de la capacidad ligante del asfalto (Asphalt Institute, 1992).

b) Durabilidad

Capacidad de soportar factores como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser producto de la acción climática, del tránsito o combinación de ambos. La mejora de esta propiedad se da con mayor cantidad de asfalto (Asphalt Institute, 1992).

c) Impermeabilidad

Es la resistencia ante el ingreso del aire y agua hacia la parte interna del pavimento, está relacionada directamente con el contenido de vacíos de la mezcla compactada y es fundamental para la durabilidad de las mezclas asfálticas compactadas (Asphalt Institute, 1992).

d) Trabajabilidad

Es la facilidad de la mezcla para ser extendida y compactada durante la puesta en obra; en general, las mezclas presentan buena trabajabilidad facilitando su colocación y compactación (Asphalt Institute, 1992).

e) Flexibilidad

Es la capacidad de la mezcla asfáltica para acomodarse, sin sufrir agrietamiento, ante los movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. Corresponde una característica

deseable pues virtualmente todas las subrasantes se asientan bajo cargas o se expanden por acción del suelo (Asphalt Institute, 1992).

f) Resistencia a la fatiga

Es la resistencia a la flexión reiterada por las cargas de tránsito, donde los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto generan un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga (Asphalt Institute, 1992).

g) Resistencia al deslizamiento

Es la habilidad para minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, especialmente cuando la superficie esta mojada (Asphalt Institute, 1992).

2.2.5. Características y comportamiento de la mezcla asfálticas

Según el Asphalt Institute (1992), una muestra de mezcla asfáltica realizada en laboratorio puede ser analizada a partir de cuatro características a fin de determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento, tales como:

a) Densidad

Está definida por el peso unitario y es una característica muy importante, pues es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado lo cual se relaciona con un rendimiento duradero. Su cálculo se da al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m^3) (Asphalt Institute, 1992).

b) Vacíos de aire

De aire o bolsas de aire, se presenta entre los agregados recubiertos en la mezcla final compactada. Asimismo, es necesario que todas las mezclas contengan cierto porcentaje de vacíos permitiendo la compactación adicional por el tráfico, además de

proporcionar espacios donde pueda fluir el asfalto durante este proceso. En cuanto, al porcentaje permitido de vacíos en muestras de laboratorio para capas de base y capas superficiales se encuentra entre 3 y 5 %, dependiendo de su diseño. Cabe mencionar que, la durabilidad de un pavimento asfáltico está función del contenido de vacíos, debido a que entre menor sea la cantidad de vacíos menor será su permeabilidad (Asphalt Institute, 1992).

c) Vacíos en el agregado mineral (VMA)

Corresponden a espacios de aire entre las partículas de agregado en una mezcla compactada, incluyendo los espacios llenos de asfalto. El VMA simboliza el espacio disponible para adaptar el volumen del asfalto menos la porción que se pierde en el agregado y el volumen de vacíos necesario en la mezcla, a mayor VMA más espacio disponible existirá para las películas de asfalto (Asphalt Institute, 1992).

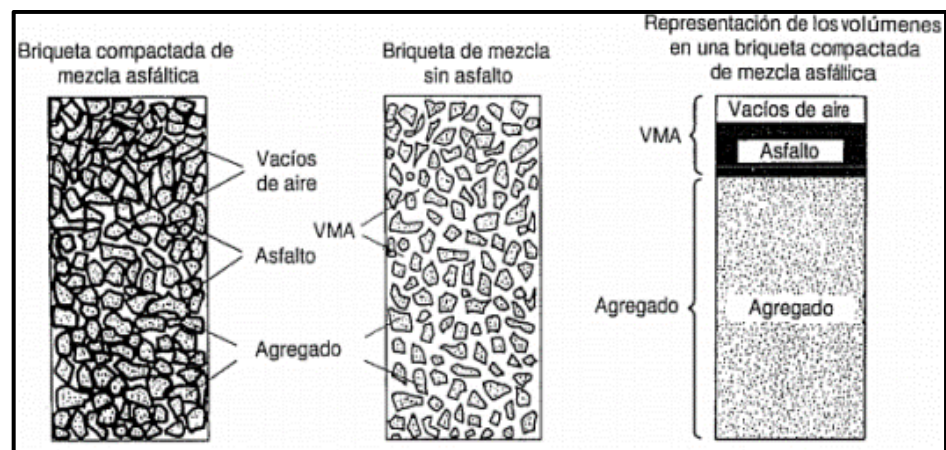


Figura 7. Ilustración del VMA en una probeta de mezcla compactada.
Fuente: Asphalt Institute (1992).

d) Contenido de asfalto

La proporción de asfalto en la mezcla es determinada exactamente en laboratorio; no obstante, es controlada con precisión en la puesta en obra. El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, principalmente de las características del

agregado tales como la granulometría y su capacidad de absorción (Asphalt Institute, 1992).

2.2.6. Mezcla asfáltica modificada

Según Pedraza y Forigua (2014), la mezcla asfáltica modificada es producto de la incorporación o disolución en el asfalto o sustitución parcial de agregados pétreos por un aditivo modificador (polímero o no), siendo estas sustancias estables en el tiempo y resistentes a variaciones de temperatura; pues estos modificadores que se añaden al material asfáltico son para mejorar sus propiedades, acrecentando la resistencia, comportamiento y desempeño.

2.2.7. Métodos de modificación de la mezcla asfáltica

De acuerdo a Pedraza y Forigua (2014) se presenta dos métodos para la modificación de mezclas asfálticas con polímero o aditivos, siendo estos:

a) Vía seca

El polímero reemplaza parte del agregado pétreo, generalmente las partes más finas, esta acción se da a alta temperatura para luego recepcionar el asfalto y así constituir la mezcla asfáltica.

b) Vía húmeda

El polímero es incorporado al asfalto a altas temperaturas, la combinación de este ligante modificado es añadido al agregado pétreo para conformar la mezcla asfáltica modificada.

2.2.8. Polímeros utilizados en mezcla asfáltica modificada

Cuando se modifica las mezclas asfálticas con la incorporación de polímeros en el asfalto, es para su utilización como superficie de rodadura en pavimentos de alto desempeño; además, de facilitar mayor vida útil, alta resistencia al tráfico y comodidad a los

usuarios de la vía (TDM Grupo, 2016). Es así que se tiene los siguientes:

a) Elastómeros

Según Avellán (2007) son polímeros de respuesta elástica, que requiere estar estirado para brindar resistencia al asfalto, pues al retirarle el esfuerzo aplicado retoma su forma inicial. Los tipos de elastómeros más utilizados para modificar asfaltos son:

- Cauchos naturales como el estirenobutadieno-estireno (SBS).
- Cauchos sintéticos derivados del petróleo, como el estireno, butadieno y caucho (SBR).
- Grano de llanta reciclado y triturado (GCR).

b) Plastómeros

Avellán (2007) menciona que, es un polímero que rigidiza el asfalto brindando resistencia a temprana edad; aunque la desventaja es la posibilidad de romperse a una gran deformación de no contar con una estructura adecuada, ya que no son deformables elásticamente. Dentro de esta gama se encuentran:

- Polietileno de alta y baja densidad (PEAD, PEBD).
- Polipropileno (PP).
- Poliestireno (PS).

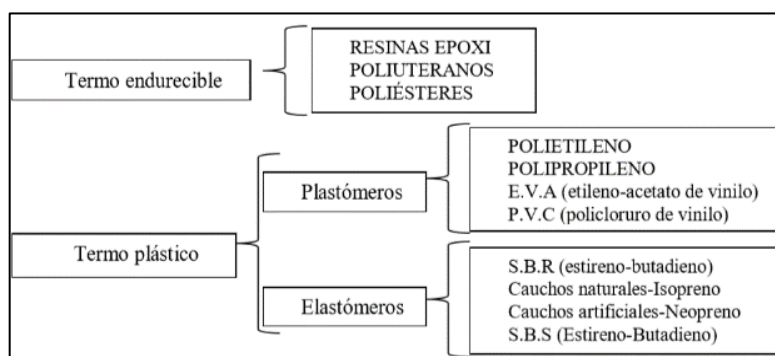


Figura 8. Clasificación de polímeros.

Fuente: Corbacho (2019).

2.2.9. Mezcla asfáltica modificado con polímero tipo plastómeros

La mezcla asfáltica modificada con plastómeros se da para que aporten rigidez y estabilidad en un pavimento; siendo el más común el polietileno, específicamente el tereftalato de polietileno (PET), más popular como botellas de plástico (Avellán, 2007).

2.2.10. Mezclas asfálticas con botellas de plástico reciclado

Se da con la incorporación de botellas reciclados a la mezcla ya sea en partículas o molido, son materiales estables ante el cambio de temperaturas, siendo su principal fin el de mejorar las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica, además de disminuir la susceptibilidad a los cambios de temperaturas y la humedad; de acuerdo a los estudios existentes referentes, esta incorporación incrementa la resistencia a la deformación ante los esfuerzos de tensión repetidos y su flexibilidad reduciendo el agrietamiento (Avellán, 2007).

2.2.11. Diseño de mezclas asfáltica en caliente mediante el método Marshall

Este método es aplicable sólo a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación con agregados de un tamaño máximo de 25 mm (1") o menor. Corresponde un experimento de laboratorio dirigido al diseño de una adecuada mezcla asfáltica en caliente por medio del análisis de su estabilidad/fluencia y densidad de vacíos lo cual garantiza que dicha mezcla asfáltica en caliente tenga buena durabilidad. Además, es el método de diseño más usual siguiendo lo establecido en la ASTM D 1559, pues consiste en someter a una carga vertical una muestra cilíndrica de mezcla hasta que se dé la rotura de la misma. La prensa que aplica la carga cuenta con un medidor de fluencia que cuantifica la deformación del cuerpo de prueba en centésimo de pulgada (0.01") (Asphalt Institute, 1992).

2.2.12. Metodología del diseño Marshall de mezclas asfálticas

a) Control y calidad de agregados

Luque (2019) indica que como primer paso para desarrollar el diseño de mezclas asfálticas en caliente según el método Marshall, se debe realizar el control de calidad de los agregados, en base a diferentes ensayos los cuales permitirán tener una idea del comportamiento que podría tener la mezcla asfáltica cuando sea puesta en servicio.

b) Control de calidad del cemento asfáltico

Luque (2019) menciona que es importante también el control de calidad del cemento asfáltico que se utilizará, debido a que la calidad de este afectará directamente al comportamiento de la mezcla asfáltica.

c) Dosificación de la combinación de agregados

Los husos granulométricos dependerán de muchos factores, entre los más importantes corresponde al espesor de la capa de asfalto para la cual se está diseñando y el tamaño máximo nominal del agregado. Existen para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, tres tipos de gradaciones o husos granulométricos, los cuales se establecen en las especificaciones técnicas del MTC (2013) tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2. Gradación de mezclas asfálticas en caliente.

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC - 1	MAC - 2	MAC - 3
25 mm (1")	100		
19 mm (3/4")	80 - 100	100	
12.5 mm (1/2")	67 - 85	80 - 100	
9.5 mm (3/8")	60 - 77	70 - 88	100
4.75 mm (N° 4)	43 - 54	51 - 68	65 - 87
2 mm (N° 10)	29 - 45	38 - 52	43 - 61
425 µm (N° 40)	14 - 25	17 - 28	16 - 29
180 µm (N° 80)	14 - 25	18 - 28	17 - 29
75 µm (N° 200)	14 - 26	19 - 28	18 - 29

Fuente: MTC (2013).

2.2.13. Procedimiento del ensayo Marshall

Según Asphalt Institute (1992) el ensayo Marshall consta de tres procedimientos: determinación de la gravedad específica, medición de la estabilidad Marshall (estabilidad y flujo), análisis de la densidad y el contenido de vacíos de las probetas.

a) Gravedad específica

Esta prueba se determina usando el procedimiento descrito en la norma ASTM—D1188 y se realiza tan pronto como las probetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente; esta medición de peso específico es esencial para un análisis preciso de densidad-vacíos (Asphalt Institute, 1992).

b) Ensayos de estabilidad y flujo

Según Asphalt Institute (1992), el ensayo de estabilidad conduce a medir la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica y el flujo mide la deformación, bajo cargas que ocurren en ésta. El procedimiento de los ensayos se muestra a continuación:

- Las probetas son calentadas a baño maría de agua a 60 °C, esta temperatura se da porque representa normalmente a la más caliente que un pavimento en servicio ha de experimentar.
- Consecuentemente, se remueve la probeta del baño maría, siendo secada y colocada rápidamente en el aparato Marshall, este aparato aplicará una carga sobre la probeta y medirá la deformación (fluencia).
- La carga aplicada a la probeta tiene una velocidad constante de 51 mm (2") / minuto hasta que el espécimen se quiebre. La falla es definitiva como la carga máxima que la probeta resista.

- La carga de falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de deformación se registra como la fluencia en el instante en que la máxima carga empieza a decrecer.

c) Valor de estabilidad Marshall

Según el Asphalt Institute (1992), el valor de la estabilidad es la medida de una carga donde cede o falla totalmente, durante el ensayo la carga es aplicada lentamente aumentando la presión hasta obtener la carga máxima que es determinada por el medidor estableciendo la estabilidad Marshall. Es así que, si un valor de estabilidad es bueno, por lo tanto, con un valor más alto se tendrá mejores resultados. Además, es dable mencionar que, en el caso de las mezclas asfálticas en caliente, las estabilidades extremadamente elevadas se logran a costa de la durabilidad.

d) Valor de fluencia Marshall

Según el Asphalt Institute (1992), el flujo Marshall indica la deformación de la mezcla y se indicada por la disminución del diámetro vertical del espécimen. Las mezclas asfálticas tienden a tener valores bajos de flujo y valores muy altos de estabilidad por ello son considerados como demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Entonces, si se tienen valores altos de flujo son consideradas suficientemente plásticas y tienden a deformarse fácilmente bajo las cargas del transporte.

e) Análisis de densidad y vacíos

Según Asphalt Institute (1992), después de los ensayos de estabilidad y flujo, se prosigue a efectuar el análisis de densidad y vacíos con el propósito de determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada; los vacíos son las pequeñas bolsas de aire que se encuentran entre las partículas de agregado revestidas de asfalto y se calcula a partir del peso específico total de cada probeta

compactada y del peso específico teórico de la mezcla de pavimentación (sin vacíos) debiéndose determinar la gravedad específica teórica máxima.

2.2.14. Requisitos establecidos para el diseño de mezcla asfáltica en caliente

Los parámetros del diseño Marshall a evaluar se encuentran en el manual de carreteras referente a especificaciones técnicas generales del MTC, los valores establecidos se compararon con los resultados obtenidos del diseño de mezcla asfáltica convencional y modificada.

Tabla 3. Requisitos del diseño Marshall para mezcla asfáltica en caliente

Parámetros de diseño	Clase de mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8.15 KN	5.44 KN	4.53 KN
3. Flujo 0.01" (0.25 mm)	8 - 14	8 - 16	8 - 20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
5. Relación estabilidad/flujo (kg/cm) (Rigidez) (2)	1,700 – 4,000		

(1) A la fecha se tienen tramos efectuados en el Perú que tienen el rango 2% a 4% (es deseable que tienda al menor 2 %) con resultados satisfactorios en climas fríos por encima de 3.000 m.s.n.m. que se recomienda en estos casos.

(2) Para zonas de clima frío es deseable que la relación Estabilidad /flujo sea de la menor magnitud posible.

Fuente: MTC (2013).

Tabla 4. Vacíos mínimos en el agregado mineral.

Tamiz	VMA % Marshall
2.36 mm (N° 8)	21
4.75 mm (N° 4)	18
9.50 mm (3/8")	16
12.5 mm (1/2")	15
19 mm (3/4")	14
25 mm (1")	13
37.5 mm (1 1/2")	12
50 mm (2")	11

Fuente: MTC (2013).

Nota. Los valores de esta tabla serán seleccionados de acuerdo al tamaño máximo de las mezclas.

2.2.15. Tereftalato de polietileno (PET)

Químicamente el PET corresponde a un polímero obtenido mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico (PTA) y el etilenglicol (EG), forma parte del grupo de materiales sintéticos nombrados como poliésteres; tiene una baja velocidad de cristalización y puede encontrarse en estado amorfo-transparente o cristalino, se caracteriza por su elevada pureza, alta resistencia, tenacidad y porque es 100 % reciclable con posibilidad de producir envases reutilizables, desplazando a otros materiales (QuimiNet, 2010).

Su fórmula es $C_{10}H_8O_4$, cuya estructura molecular es:

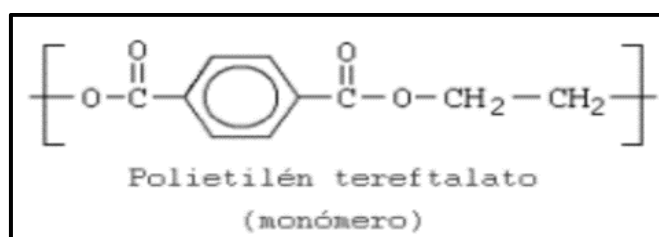


Figura 9. Tereftalato de polietileno - compuesto químico

Fuente: Todo lo que querías saber del PET (QuimiNet, 2005).

Además, se tiene que el PET es un plástico de alta calidad que se identifica con el número uno, rodeado por tres flechas en el fondo de los envases fabricados con este material, según sistema de identificación SPI (Sociedad de Industrias del plástico) tal como se muestra en la Figura 10 (QuimiNet, 2005).



Figura 10. Símbolo de identificación del PET

Fuente: La clasificación de los plásticos (Pascual, 2020).

2.2.16. Propiedades y características del PET

Luque (2019), menciona que la capacidad del PET de satisfacer diversas especificaciones técnicas han sido el motivo para que este

material se utilice en la producción de fibras textiles y diversidad de envases, pudiendo ser reutilizado debido a que presenta características y propiedades positivas. Siendo sus propiedades y características más importantes las siguientes:

- Alta resistencia al desgaste y corrosión.
- Alta resistencia a esfuerzos permanentes, pues presenta alta rigidez y dureza.
- Presenta buen coeficiente de deslizamiento.
- Buena resistencia química y térmica, poseyendo una gran indeformabilidad al calor.
- Muy buena barrera para los gases CO₂, aceptable barrera a O₂ y la humedad.
- Alta resistencia al plegado y baja absorción de humedad, haciendo muy adecuado para la fabricación de fibras.
- No tóxica, a cierto grado.
- Totalmente reciclable, superficie barnizable, presentando estabilidad a la intemperie.
- Irrompible, liviana e impermeable.
- Su densidad oscila entre 1.34 a 1.39 g/cm³ en su estado amorfo.
- Llega a fusión con temperatura entre 256 a 271 °C.

2.2.17. Ventajas y desventajas del PET

De acuerdo a Angeles (2019) actualmente, existe un gran debate respecto al PET, pues su demasiada utilización genera ciertas complicaciones. Si bien es algo que forma parte de la sociedad, la gran cantidad de este plástico que se genera hace que sus efectos sean más visibles, por ello se tiene las siguientes ventajas y desventajas de este material:

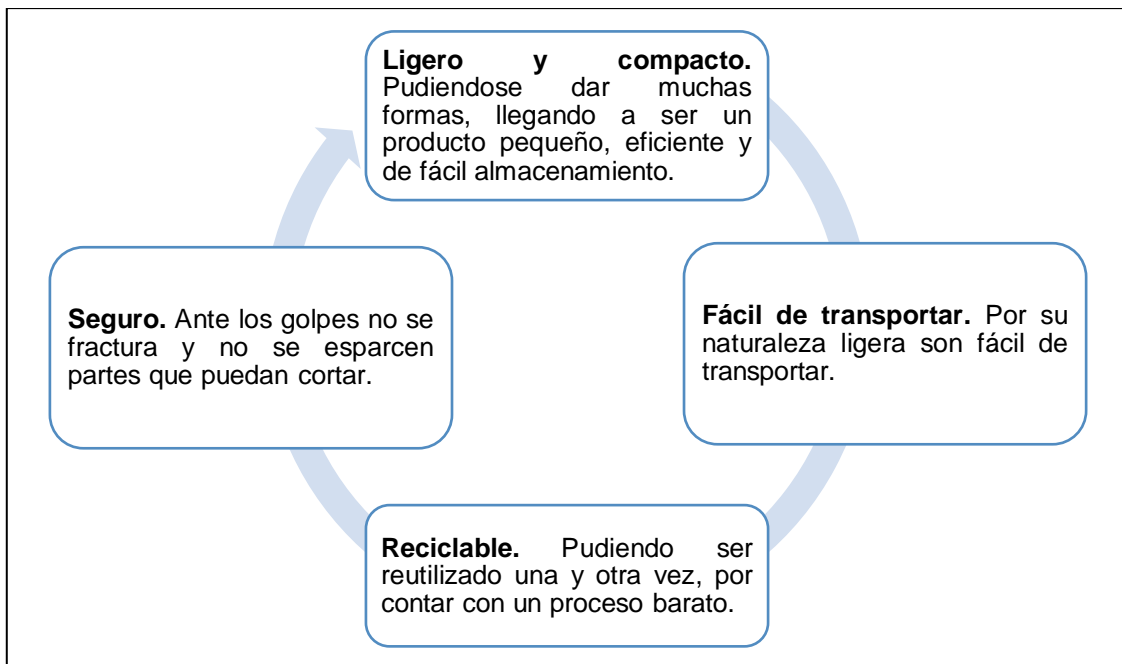


Figura 11. Ventajas del PET.

Fuente: Angeles (2019).

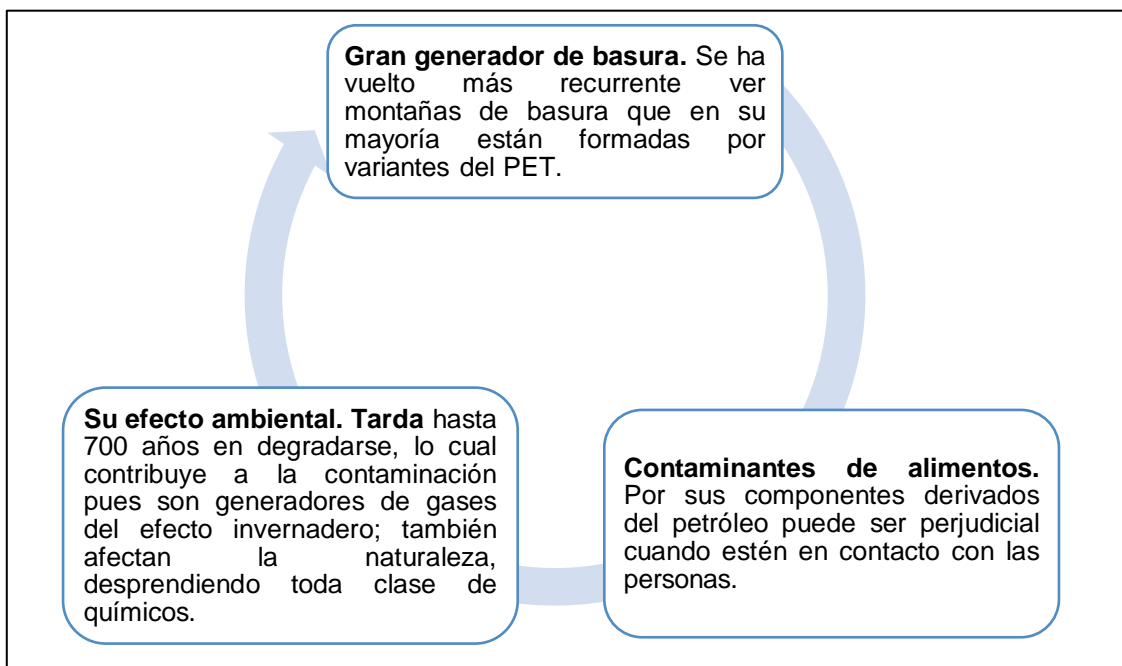


Figura 12. Desventajas del PET.

Fuente: Ángeles (2019).

2.3. Definición de términos

- **Agregado.** – Es aquel material granular de composición mineralógica como arena, grava, escoria, o roca triturada, utilizado para ser mezclado bajo diferentes tamaños y proporciones (MTC, 2018).

- **Asfalto modificado.** – Es el producto de la incorporación de un polímero u otro modificador para acentuar sus propiedades físicas y mecánica, tal como la reducción de la susceptibilidad a la temperatura y a la humedad (MTC, 2018).
- **Bitumen.** – Sustancia cementante de color negro u oscuro (sólida, semisólida, o viscosa), pudiendo ser natural o fabricada, se compone especialmente de hidrocarburos de alto peso molecular, como el asfalto, breas y los betunes (MTC, 2018).
- **Carretera pavimentada.** – Vía donde la superficie de rodadura, está conformada por mezcla bituminosa (flexible) o de concreto Portland (rígida) (MTC, 2018).
- **Construcción de carretera asfaltada.** – Son estructuras que reposan sobre un suelo de subrasante y está constituido por una o más capas de materiales seleccionados, además de contar con un proceso constructivo (estipulado y controlado), su principal función es la transmisión de manera adecuada los esfuerzos producidos por el tránsito a la subrasante, adicionalmente, deben proporcionar una superficie de rodadura cómoda, segura y económica a los usuarios, facilitando así la circulación de los vehículos (Berrío, 2017).
- **Desempeño estructural.** – Es la habilidad del pavimento que implica soportar las cargas impuestas por el tráfico, dentro de un nivel de servicio apropiado por un determinado periodo de tiempo y condiciones ambientales (Loria, 2017).
- **Granulometría.** – Es la representación de la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas (MTC, 2018).
- **Pavimento.** – Estructura construida sobre la subrasante de la vía, capaz de resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito.

General está conformada por subbase, base y capa de rodadura (MTC, 2018).

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Del análisis técnico – económico de mezclas asfálticas con tereftalato de polietileno reciclado, se tiene que éste mejora el desempeño estructural y la durabilidad, además de no variar significativamente el costo para la construcción de carreteras asfaltadas.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a) Las escamas de tereftalato de polietileno reciclado inciden positivamente en el desempeño estructural de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas.
- b) Las escamas de tereftalato de polietileno reciclado influyen positivamente en la durabilidad de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas.
- c) Las escamas de tereftalato de polietileno reciclado no varían significativamente el costo de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas.

2.5. Variables

2.5.1. Definición conceptual de la variable

Variable independiente (X): Tereftalato de polietileno reciclado. – Es un polímero obtenido mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico (PTA) y el etilenglicol (EG), es 100 % reciclable con posibilidad de producir envases reutilizables, desplazando a otros materiales (QuimiNet, 2010).

Variable dependiente (Y): Mezcla asfáltica. - Es una combinación de agregados minerales pétreos mediante un ligante

asfáltico en proporciones exactas, de tal forma que los agregados queden cubiertos por una capa uniforme de asfalto (Asphalt Institute, 1992).

2.5.2. Definición operacional de la variable

Variable independiente (X): Tereftalato de polietileno reciclado. – Se utilizó las escamas del tereftalato de polietileno reciclado bajo variaciones porcentuales de 1, 3, 5 y 7 % del contenido de agregados de la mezcla además de parcial del agregado fino.

Variable dependiente (Y): Mezcla asfáltica. – Se midió su desempeño estructural en base a la estabilidad, flujo y rigidez, además de la durabilidad en relación a la pérdida por desgaste y por último se evaluó el costo de la mezcla asfáltica modificada con escamas de tereftalato de polietileno.

2.5.3. Operacionalización de la variable

Tabla 5. Operacionalización de las variables:

Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidades
Variable independiente (X): tereftalato de polietileno reciclado	Escama de tereftalato de polietileno	Cantidad de escama de tereftalato de polietileno	Porcentaje (%)
		Variable dependiente (Y): mezcla asfáltica en caliente	Desempeño estructural
	Durabilidad	Pérdida por desgaste	Porcentaje (%)
	Costo	Costo de ejecución	Soles (S/)

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método de investigación

La investigación utilizó el método científico, porque se consideró un conjunto de procedimientos ordenados como la observación, la medición, experimentación, análisis de la hipótesis y elaboración de las conclusiones.

3.2. Tipo de investigación

La investigación fue del tipo aplicada, porque se utilizó el conocimiento establecido por la investigación básica para la solución de un problema real, siendo así se aplicó conocimientos referentes de mezcla asfáltica, tereftalato de polietileno, desempeño estructural y desgaste, adicional a ello se utilizó los manuales del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

3.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación fue el correlacional, porque se asoció la variable de tereftalato de polietileno con la mezcla asfáltica a partir de un patrón predecible el cual es el desempeño estructural, la durabilidad y el costo.

3.4. Diseño de investigación

El diseño de la investigación fue el experimental porque se generó situaciones para explicar cómo afecta el contenido de escamas de tereftalato en las mezclas asfálticas en caliente, además de comparar su desempeño estructural, durabilidad y costo con una mezcla asfáltica convencional.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población correspondió a la cantidad de cuerpos de prueba que se realizó para mezcla asfáltica convencional y mezcla asfáltica modificada con incorporación de escamas de tereftalato de polietileno reciclado proveniente de botellas de plástico; para determinar en número de especímenes se consideró lo establecido por el Manual de ensayos de materiales (MTC, 2016) que para la aplicación del método Marshall, se deberá promediar un mínimo de 03 especímenes por cada incremento de contenido de ligante en 0.5 %, obteniéndose así cinco grupos de comparación, tal como se muestra en la Tabla 6, haciendo un total de 100 especímenes a evaluar.

Tabla 6. Muestreo para los ensayos.

Muestra	Número de especímenes	
	Ensayo Marshall	Ensayo Cántabro
Mezcla convencional con gradación de 0.5 %	15	5
Mezcla con 1% de PET reciclado	15	5
Mezcla con 3% de PET reciclado	15	5
Mezcla con 5% de PET reciclado	15	5
Mezcla con 7% de PET reciclado	15	5
Total	75	25

3.5.2. Muestra

No se utilizó técnica de muestreo, pues la muestra correspondió a la totalidad de la población; es decir los 100 especímenes de mezcla asfáltica.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

a) Observaciones simples

Puesto que los estudios aplicados para la medición de las dimensiones de la variable independiente tales como: tereftalato de polietileno, así como la variable dependiente: mezcla asfáltica en caliente, se realizó a través de mediciones directas y ensayos de laboratorios sin alterar la naturaleza de las sub variables.

b) Fichas técnicas

Se consideró la ficha técnica N° 1 para la anotación del contenido asfáltico, gradación, tamaño de proporción (filler/agregado) y proporción de molienda; y la ficha técnica N° 2, donde se recolectó información respecto a la estabilidad, flujo, rigidez y durabilidad, tal como se muestra en el Anexo N° 02.

3.6.2. Instrumentos

Los instrumentos utilizados para la realización de la investigación correspondieron fundamentalmente aquellos que se encuentran normalizados por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones para los ensayos de granulometría, Marshall y Cántabro.

3.6.3. Materiales

a) Agregados pétreos

Se consideró los agregados de la cantera Tres de diciembre que se ubica en el distrito de Huamancaca Chico, provincia de Chupaca, departamento de Junín.



Figura 13. Cantera Tres de Diciembre.

Fuente: Google Earth (2020).

Asimismo, en este mismo lugar se encuentra una chancadora productora de agregado pétreo de 1/2" y arena chancada.



Figura 14. Producción de piedra chancada de 1/2" y arena chancada.

b) Escamas de tereftalato de polietileno

Para esta tesis se obtuvo las escamas de PET, mediante proceso mecánico de triturado de botellas de plástico por medio de una malla interna de picado, a través de la recolección de botellas recicladas de gaseosa en la planta de reciclaje de la empresa S

PLAST E.I.R.L. ubicado en la Mza. "A" lote N° 25, de la urbanización Santa Inés, parcela N° 37, distrito de Puente piedra, departamento Lima.



Figura 15. Planta de reciclaje "S PLAST E.I.R.L".
Fuente: Google Earth (2020).







Figura 16. Obtención de escamas de PET.

c) Trabajo de campo

En la Tabla 7 y

Tabla 8 se muestra los procedimientos considerados para la realización del ensayo Marshall y Cántabro, haciendo énfasis a la descripción, características, el procedimiento, la identificación y fotografías de los mismos.

Tabla 7. Proceso del ensayo empleando el aparato Marshall.

Descripción y características	Procedimiento	Identificación e imágenes										
<p>Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall (ASTM D-1559) / (MTC-E 504)</p>	<p>Procedimiento para el diseño de mezcla asfáltica convencional</p>	<p>Los Especímenes obtenidos en laboratorio son:</p>										
<p>Objetivo:</p>	<p>Para realizar el ensayo Marshall se diseñó un MAC convencional, con un peso de muestra total de 1200 g requeridos en cada briqueta, en este ensayo se eligió cinco porcentajes de contenido de cemento asfáltico, de 5, 5.5, 6, 6.5 y 7 % de PEN (85/100), donde por cada porcentaje se realizaron tres briquetas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • MAC – Convencional, 15 Briquetas. • MAC – Adicionado 1.00% de PET, 15 Briquetas. • MAC – Adicionado 3.00% de PET, 15 Briquetas. • MAC – Adicionado 5.00% de PET, 15 Briquetas. • MAC – Adicionado 7.00% de PET, 15 Briquetas. 										
<p>Diseñar una mezcla asfáltica, obteniendo como resultado una granulometría idónea, el contenido óptimo de asfalto, para ello se empleó muestras normalizadas de prueba de 64 mm (2.5") de espesor por 102 mm (4") de diámetro, el peso aproximado de cada muestra es de 1200 g, esto para calcular sus diferentes parámetros de comportamiento.</p>	<p>Se procedió al pesado del agregado grueso retenido en las mallas 3/4", 1/2", 3/8", N°4, también de la arena gruesa chancada malla N°4, N° 10, N° 40, N° 80 y N° 200 y se dosificó el asfalto en peso con respecto a la mezcla total.</p>											
<p>Descripción del método:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Componentes MAC convencional</th> </tr> <tr> <th>Insumos</th> <th>Porcentajes (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Piedra chancada 1/2"</td> <td>37.00</td> </tr> <tr> <td>Arena gruesa chancada</td> <td>63.00</td> </tr> <tr> <td>PEN 85/100</td> <td>0.05</td> </tr> </tbody> </table>	Componentes MAC convencional		Insumos	Porcentajes (%)	Piedra chancada 1/2"	37.00	Arena gruesa chancada	63.00	PEN 85/100	0.05	<p>Fotografía 1. Dosificación de agregados pétreos según porcentajes.</p>
Componentes MAC convencional												
Insumos	Porcentajes (%)											
Piedra chancada 1/2"	37.00											
Arena gruesa chancada	63.00											
PEN 85/100	0.05											
<p>En primera instancia se fabrica las probetas tipo Marshall. Para determinar la clase de mezcla se eligió la gradación MAC - 2, para simular un tráfico de volumen alto.</p>	<p>En bandejas separas y previamente taradas, se pesó cada porción de agregados petreos, tanto gruesos como finos, de acuerdo al porcentaje de asfalto.</p>											
<p>Previo a la realización de las probetas es necesario verificar que los materiales cumplan con las especificaciones granulométricas. Luego se confeccionan varias probetas normalizadas, cada una con porcentajes de asfalto diferentes (3 por cada % de asfalto). Las probetas Marshall se compactaron a 75 golpes cada una debido a que el diseño de la mezcla se hizo para la solicitud de una vía de tráfico pesado.</p>	<p>Se calentó el bitumen (cemento asfáltico) en el horno graduado a una temperatura correspondiente para producir una viscosidad cinemática entre 0.15 y 0.19 Pa-s (150 y 190 cS)</p>	<p>Fotografía 2. Calentamiento de los componentes de mezcla asfáltica y de moldes Marshall.</p>										
<p>Para el cálculo de la estabilidad y fluencia, las probetas son ensayadas a 60 °C mediante la máquina de ensayo de Marshall, aplicándose una carga a velocidad de deformación definida hasta que se produzca la falla. La carga (en N) obtenida se denomina la estabilidad Marshall de la probeta y la deformación asociada a esta carga se define como la fluidez de la probeta y se expresa en unidades de 0.25 mm.</p>	<p>De igual manera se procedio a calentar los moldes y agregados pétreos en la cocina industrial hasta llegar a una temperatura aproximada de 110 °C. Con la ayuda de un recipiente de mezclado y una espátula, se mezcló en seco durante un tiempo, lo cual permitió obtener una buena combinación de los agregados, sin que se presente una pérdida de temperatura en la mezcla.</p>											
<p>Equipo y materiales:</p>	<p>Se vertió la cantidad requerida de cemento asfáltico en la mezcla de agregados, para mezclarlo lo más rápido y constante posible hasta obtener una mezcla completa y homogénea. Esta mezcla se realizó en una placa de calentamiento hasta que la mezcla alcanzara una temperatura de 140 °C, aproximadamente.</p>											
<p>– Molde ensamblado para especímenes, molde cilíndrico.</p>	<p>Después de ello, se procedió al llenado del molde chuseando vigorosamente la mezcla con una espátula calentada 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el interior de la mezcla asfáltica. Esto se realizó para lograr un mejor acomodo de las partículas de la mezcla en el molde.</p>											
<p>– Equipo misceláneo:</p>	<p>De igual manera una vez teniendo la mezcla en el molde se puso el collar y se aplicaron 75 golpes con el martillo compactador. Luego, se volteó la probeta y nuevamente se le aplicaron 75 golpes. Se repitió el procedimiento para cada una de las briquetas.</p>											
<p>Después de la compactación, se retiró el collar junto con los moldes. Se dejó enfriar la muestra al aire dentro del molde durante 24 h después de la compactación, luego se procedió a desmoldar los especímenes con el extractor de núcleo de muestras.</p>												



Fotografía 7. Baño María de briquetas Marshall a 60°C, para roturas de probetas.



Fotografía 8. Dosificación de agregados pétreos y escamas de PET según porcentajes.

- Cocina industrial.
 - Taras y bandejas.
 - Cucharones, espátulas para batido.
 - Horno.
 - Balanza, con aproximación a 0.1 g.
 - Termómetro con vástago de metal calibrado de 10 a 200 °C.
 - Corrector para marcar muestras.
-
- Martillo de compactación.
 - Extractor de núcleo de muestras.
 - Cabezal de ruptura.
 - Máquina de carga a comprensión.
 - Medidor de flujo (flujómetro).
 - Baño de agua (precisión de +/- 1 °C).

Asimismo, con una lija se procedió a quitar las partes imperfectas de los bordes de las briquetas para medir las alturas para pesar en seco y bajo agua cada una de las briquetas.

Una vez ya pesadas y medidas las briquetas se calentó en baño maría 10 briquetas a 60 °C durante 30 min aproximadamente.

Una vez transcurrido el periodo de temperado se procedió a la rotura de cada una de las briquetas para medir el flujo y la estabilidad con la prensa Marshall.

Procedimiento para el diseño de mezcla asfáltica modificado

El procedimiento para producir las mezclas asfálticas modificadas, se realizó de forma similar a la producción de la mezcla asfáltica convencional, se decidió tomar cuatro porcentajes de PET para ser utilizados como parcial de agregado fino. Estos porcentajes fueron: 1, 3, 5 y 7 %.

Componentes MAC modificado				
Insumos	Porcentajes (%)			
Piedra chancada 1/2"	37.00	37.00	37.00	37.00
Arena gruesa chancada	62.00	60.00	58.00	56.00
Escamas de PET	1.00	3.00	5.00	7.00
PEN 85/100	0.05	0.05	0.05	0.05

Se realizó de forma similar a la producción de la mezcla asfáltica convencional, calentando los agregados grueso y fino.

Se mezcló los agregados con el cemento asfáltico lo más rápido y constante posible, hasta que la mezcla alcance una temperatura de 140 °C, aproximadamente, para de esta manera ser incorporado las fibras de PET y mezclado y mezclado nuevamente hasta obtener una mezcla completa y homogénea.

De forma similar a la producción de mezcla asfáltica convencional, una vez alcanzado la mezcla homogénea, se llevó al compactador Marshall y se dió 75 golpes en cada cara.

Posteriormente luego de moldear se esperó 24 h hasta que los cuerpos de prueba endurezcan y enfríen a temperatura ambiente para finalmente extraer los especímenes.

Asimismo, con una lija se procedió a quitar las partes imperfectas de los bordes de las briquetas para poder medir las alturas y pesar en seco y bajo agua cada una de las briquetas, de forma similar a la realizada para los especímenes de mezcla asfáltica convencional.

De misma forma al proceso convencional, las probetas se calentaron en baño maría a 60 °C durante 30 min aproximadamente, para luego ser llevadas a la prensa Marshall para el respectivo ensayo.

Fotografía 3. Mezclado de agregados con el cemento asfáltico y toma de temperatura.



Fotografía 4. Llenado de molde y Compactación mecánica manual de las briquetas Marshall



Fotografía 5. Obtención de briquetas Marshall convencional.



Fotografía 6. Determinación del peso específico de briquetas Marshall convencional.

Fotografía 9. Mezclado de agregados con el cemento asfáltico y colocación de escamas de PET como sustitución parcial de agregado fino.



Fotografía 10. Probetas desmoldadas de mezcla asfáltica modificada.



Fotografía 11. Rotura de briquetas de MAC convencional en la prensa Marshall para determinar la Estabilidad y Flujo.

Tabla 8. Proceso del ensayo Cántabro para desgaste de mezcla asfáltica.

Descripción y características	Procedimiento	Descripción e imágenes
<p>Desgaste de la mezcla asfáltica en caliente del ensayo de Cántabro (MTC E 515)</p> <p>Objetivo:</p> <p>Describir el procedimiento para la determinación del valor de la pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas empleando la máquina de Los Ángeles.</p> <p>Definición:</p> <p>Este ensayo permitió valorar directamente la cohesión, trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.</p> <p>Equipo y materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Equipo de compactación. - Moldes. - Collar. - Placa de base. - Cocina industrial. - Taras y bandejas. - Cucharones, espátulas para batido. - Horno. - Balanza, con aproximación a 0.1 g. - Termómetro con vástago de metal calibrado de 10 a 200 °C. - Máquina de abrasión Los Ángeles. 	<p>Este procedimiento se realizó de forma similar a la producción de la mezcla asfáltica para el diseño Marshall.</p> <p>Donde las briquetas a ensayar se diseñaron para un MAC convencional y un MAC modificado con 1, 3, 5 y 7 % de escamas de PET, con diferentes contenidos de cemento asfáltico en 5, 5.5, 6, 6.5 y 7 % de PEN (85/100), teniendo así 01 briqueta por cada contenido de PEN, con y sin escamas de PET.</p> <p>Luego de obtener las briquetas, se procedió a determinar la masa de cada espécimen, antes de ensayarlas se mantuvo a temperatura de ensayo mínimo.</p> <p>Luego se introdujo una briqueta del mismo porcentaje de cemento asfáltico con y sin escamas de PET en el bombo de la máquina de los Ángeles sin la carga abrasiva de las bolas, se hizo girar el tambor a la misma velocidad normalizada en la MTC E 207, durante 300 vueltas o 30 rpm.</p> <p>Una vez que terminó de girar la briqueta se procedió al pesaje final en la balanza, ese mismo procedimiento se realizó para cada porcentaje de cemento asfáltico con y sin escamas de PET.</p> <p>El ensayo se repitió de forma idéntica con cada una de las probetas preparadas.</p> <p>Luego se procedió a los cálculos en gabinete.</p>	<p>Los especímenes obtenidos en laboratorio fueron:</p> <ul style="list-style-type: none"> • MAC – Convencional, 5 briquetas. • MAC – Adicionado 1 % de escamas de PET, 5 briquetas. • MAC – Adicionado 3 % de escamas de PET, 5 briquetas. • MAC – Adicionado 5 % de escamas de PET, 5 briquetas. • MAC – Adicionado 7 % de escamas de PET, 5 briquetas. <p>Fotografía 12. Se determina la masa de cada espécimen MAC-convencional y MAC-modificado con PET.</p> <p>Fotografía 13. Se introduce una probeta en el bombo de la máquina de Los Ángeles y se ensayan de uno a uno.</p> <p>Fotografía 14. Se hace girar el tambor a (30 a 33 rpm), durante 300 vueltas.</p> <p>Fotografía 15. Se retira la probeta y se realiza un nuevo pesado.</p> <p>Fotografía 16. Especímen MAC-convencional y MAC-modificado con PET, después de ser ensayados.</p>



Fotografía 14. Se hace girar el tambor a (30 a 33 rpm), durante 300 vueltas.



Fotografía 12. Se determina la masa de cada espécimen MAC-convencional y MAC-modificado con PET.



Fotografía 15. Se retira la probeta y se realiza un nuevo pesado.



Fotografía 13. Se introduce una probeta en el bombo de la máquina de Los Ángeles y se ensayan de uno a uno.



Fotografía 16. Especímen MAC-convencional y MAC-modificado con PET, después de ser ensayados.

3.7. Procesamiento de la información

El procesamiento de la información obtenido se realizó mediante matrices de tabulación y gráficos esto en base a los resultados obtenidos en laboratorio; lo cual se procesó en base a los paquetes computacionales:

- **Microsoft Excel:** se exportó cuadros, datos estadísticos de los resultados, datos obtenidos de los ensayos de Marshall y Cántabro.
- **Microsoft Word:** con lo cual se elaboró la parte descriptiva del proyecto de investigación.
- **S10 Presupuestos 2005:** se elaboró el presupuesto y costo de producción de las mezclas asfálticas tanto convencional y las modificadas con escamas de PET.
- **SPSS:** para realizar las pruebas de hipótesis y análisis de datos estadísticos.

Además, para el procesamiento de la información se consideró lo establecido y normado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en los siguientes documentos:

- Manual de carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción (MTC, 2013).
- Manual de ensayos de materiales (MTC, 2016).
- Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos (sección suelos y pavimentos) (MTC, 2014).

3.8. Técnicas y análisis de datos

Las técnicas para el procesamiento y análisis de datos, se realizó utilizando estadísticos descriptivos, tales como el promedio.

Asimismo, para la prueba de hipótesis se utilizó la prueba estadística ANOVA y Tukey cuando los datos presentaron una distribución normal; y

la prueba estadística de Kruskal – Wallis con ANOVA de una vía de Kruskal – Wallis cuando los datos presentaron una distribución no normal.

3.8.1. Organización de los datos

Para esto se utilizó matrices de tabulación típica, elaboradas en Microsoft Excel, donde se separó cada una de los indicadores fijadas para el estudio de la variable independiente (tereftalato de polietileno) y la variable dependiente (mezcla asfáltica en caliente).

3.8.2. Análisis de datos

Para el análisis de datos, se consideró la técnica establecida para datos cuantitativos, basada en la estadística descriptiva, esto para la descripción, realización de figuras, el análisis, la comparación, el establecimiento de la relación y sobre todo para resumir los datos obtenido en laboratorio, además de probar la hipótesis de la investigación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Desempeño estructural de mezcla asfáltica con escamas de PET reciclado

Para ello en primera instancia se realizó la combinación de los componentes de materiales para el diseño de la mezcla asfáltica convencional y modificado con PET reciclado, conforme a la metodología establecidos en el manual de carreteras (EG - 2013); con un peso de muestra total de 1200 g requeridos en cada briqueta, se eligieron cinco porcentajes de contenido de cemento asfáltico, de 5, 5.5, 6, 6.5 y 7 % de PEN (85/100). Para las muestras modificados con escamas de PET se utilizó porcentajes de 1, 3, 5 y 7 %, como parcial de agregado fino (arena gruesa chancada), retenido en las mallas N° 10 y N° 40, tal como se especifica en las siguientes tablas:

Tabla 9. Componentes para ensayo Marshall MAC – Convencional.

Contenido asfáltico	Tamaño de proporción (Gradación)	Proporción de agregados	
		AG (%)	AF (%)
5.00	MAC2	37.00	63.00
5.50	MAC2	37.00	63.00
6.00	MAC2	37.00	63.00
6.50	MAC2	37.00	63.00
7.00	MAC2	37.00	63.00

La Tabla 9 muestra los componentes de la mezcla asfáltica convencional, con cada una de las variaciones porcentuales.

Tabla 10. Componentes para el Marshall MAC modificado con 1% de PET reciclado.

Contenido asfáltico	Tamaño de proporción (Gradación)	Proporción de agregados		
		AG (%)	AF (%)	PET (%)
5.00	MAC2	37.00	62.00	1.00
5.50	MAC2	37.00	62.00	1.00
6.00	MAC2	37.00	62.00	1.00
6.50	MAC2	37.00	62.00	1.00
7.00	MAC2	37.00	62.00	1.00

En la Tabla 10 se detalla los componentes de la mezcla asfáltica modificada con 1 % de PET reciclado, con cada una de las variaciones porcentuales.

Tabla 11. Componentes para el Marshall MAC modificado con 3 % de PET reciclado.

Contenido asfáltico	Tamaño de proporción (Gradación)	Proporción de agregados		
		AG (%)	AF (%)	PET (%)
5.00	MAC2	37.00	60.00	3.00
5.50	MAC2	37.00	60.00	3.00
6.00	MAC2	37.00	60.00	3.00
6.50	MAC2	37.00	60.00	3.00
7.00	MAC2	37.00	60.00	3.00

En la Tabla 11 se detalla los componentes de la mezcla asfáltica modificada con 3 % de PET reciclado, con cada una de las variaciones porcentuales.

Tabla 12. Componentes para el Marshall MAC modificado con 5 % de PET reciclado.

Contenido asfáltico	Tamaño de proporción (Gradación)	Proporción de agregados		
		AG (%)	AF (%)	PET (%)
5.00	MAC2	37.00	58.00	5.00
5.50	MAC2	37.00	58.00	5.00
6.00	MAC2	37.00	58.00	5.00
6.50	MAC2	37.00	58.00	5.00
7.00	MAC2	37.00	58.00	5.00

En la Tabla 12 se detalla los componentes de la mezcla asfáltica modificada con 5 % de PET reciclado, con cada una de las variaciones porcentuales.

Tabla 13. Componentes para el Marshall MAC modificado con 7 % de PET reciclado.

Contenido asfáltico	Tamaño de proporción (Gradación)	Proporción de agregados		
		AG (%)	AF (%)	PET (%)
5.00	MAC2	37.00	56.00	7.00
5.50	MAC2	37.00	56.00	7.00
6.00	MAC2	37.00	56.00	7.00
6.50	MAC2	37.00	56.00	7.00
7.00	MAC2	37.00	56.00	7.00

En la Tabla 13 se detalla los componentes de la mezcla asfáltica modificada con 7 % de PET reciclado, con cada una de las variaciones porcentuales.

Consecuentemente, se realizó el ensayo de Marshall con el cual se obtuvo la estabilidad, flujo y índice de rigidez, con dosificación de 1, 3, 5 y 7 %, como parcial de agregado fino en relación del MAC convencional, tal como se especifica en las siguientes tablas:

Tabla 14. Resultados del ensayo Marshall MAC – Convencional.

N° de briqueta	% De cemento asfáltico	Estabilidad (Kg)	Flujo (mm)	Índice de rigidez (kg/cm)
1	5.00	1124.00	2.79	4024.00
2	5.00	1124.00	3.05	3753.00
3	5.00	1124.00	2.79	4039.00
4	5.50	988.00	3.05	3239.00
5	5.50	897.00	3.05	2939.00
6	5.50	934.00	3.05	3063.00
7	6.00	957.00	3.30	2899.00
8	6.00	948.00	3.30	2872.00
9	6.00	924.00	3.30	2799.00
10	6.50	827.00	3.56	2326.00
11	6.50	832.00	3.56	2340.00
12	6.50	884.00	3.56	2486.00
13	7.00	717.00	4.06	1764.00
14	7.00	803.00	4.06	1977.00
15	7.00	884.00	4.06	2174.00

En la Tabla 14 se detalla los resultados de estabilidad, flujo e índice de rigidez de acuerdo al ensayo Marshall para la mezcla asfáltica convencional, presentando un contenido óptimo de cemento asfáltico de 6 % y alcanzando una estabilidad de 905 kg, flujo de 3.30 mm y rigidez de 2846 kg/cm.

Tabla 15. Resultados del ensayo Marshall MAC modificado con 1 % de PET reciclado.

N° de briqueeta	% De cemento asfáltico	Estabilidad (Kg)	Flujo (mm)	Índice de rigidez (kg/cm)
1	5.00	1095.00	3.05	3591.00
2	5.00	1045.00	3.05	3427.00
3	5.00	1019.00	3.04	3353.00
4	5.50	973.00	3.30	2949.00
5	5.50	939.00	3.30	2844.00
6	5.50	1037.00	3.30	3144.00
7	6.00	985.00	3.56	2769.00
8	6.00	861.00	3.30	2609.00
9	6.00	932.00	3.30	2824.00
10	6.50	920.00	3.81	2415.00
11	6.50	988.00	3.81	2593.00
12	6.50	910.00	3.81	2388.00
13	7.00	794.00	4.64	1710.00
14	7.00	848.00	4.32	1963.00
15	7.00	811.00	4.06	1996.00

Del mismo modo, en la Tabla 15 se especifica los resultados de estabilidad, flujo e índice de rigidez de acuerdo al ensayo Marshall para la mezcla asfáltica modificado con 1 % de escamas de PET reciclado, presentando un contenido óptimo de cemento asfáltico de 6 %, obteniéndose una estabilidad de 949 kg, flujo de 3.50 mm y rigidez de 2705 kg/cm.

Tabla 16. Resultados del ensayo Marshall MAC modificado con 3 % de PET reciclado.

N° de briqueeta	% De cemento asfáltico	Estabilidad (Kg)	Flujo (mm)	Índice de rigidez (kg/cm)
1	5.00	707.00	3.81	1856.00
2	5.00	690.00	3.81	1810.00
3	5.00	676.00	3.81	1774.00
4	5.50	571.00	4.06	1405.00
5	5.50	508.00	4.06	1250.00
6	5.50	593.00	4.06	1459.00
7	6.00	557.00	4.57	1219.00
8	6.00	547.00	4.57	1196.00
9	6.00	495.00	4.57	1083.00
10	6.50	423.00	4.83	877.00
11	6.50	499.00	4.83	1034.00
12	6.50	447.00	4.83	927.00
13	7.00	416.00	5.33	780.00
14	7.00	411.00	5.33	770.00
15	7.00	395.00	5.33	741.00

Consecuentemente, en la Tabla 16 se detalla los resultados de estabilidad, flujo e índice de rigidez de acuerdo al ensayo Marshall para la mezcla asfáltica modificado con 3 % de escamas de PET reciclado, con un contenido óptimo de cemento asfáltico de 6.2 %, presentando una estabilidad de 487 kg, flujo de 4.60 mm y rigidez de 1111 kg/cm.

Tabla 17. Resultados del ensayo Marshall MAC modificado con 5 % de PET reciclado.

N° de briqueeta	% De cemento asfáltico	Estabilidad (Kg)	Flujo (mm)	Índice de rigidez (kg/cm)
1	5.00	471.00	5.08	927.00
2	5.00	440.00	5.08	866.00
3	5.00	468.00	5.08	921.00
4	5.50	397.00	5.59	711.00
5	5.50	380.00	5.59	681.00
6	5.50	401.00	5.59	718.00
7	6.00	359.00	5.84	614.00
8	6.00	355.00	5.84	607.00
9	6.00	385.00	5.84	6.59
10	6.50	338.00	6.10	554.00
11	6.50	333.00	6.10	546.00
12	6.50	312.00	6.10	511.00
13	7.00	244.00	6.35	385.00
14	7.00	296.00	6.35	467.00
15	7.00	312.00	6.35	491.00

Del mismo modo, la Tabla 17 se define los resultados de estabilidad, flujo e índice de rigidez de acuerdo al ensayo Marshall para la mezcla asfáltica modificado con 5 % de escamas de PET reciclado, donde el porcentaje óptimo de cemento asfáltico fue de 6 %, obteniéndose así una estabilidad de 361 kg, flujo de 5.90 mm y rigidez de 644 kg/cm.

Tabla 18. Resultados del ensayo Marshall MAC modificado con 7 % de PET reciclado.

N° de briqueeta	% De cemento asfáltico	Estabilidad (Kg)	Flujo (mm)	Índice de rigidez (kg/cm)
1	5.00	493.00	5.33	924.00
2	5.00	372.00	5.08	733.00
3	5.00	442.00	5.33	829.00
4	5.50	367.00	5.84	627.00
5	5.50	346.00	5.84	592.00
6	5.50	375.00	5.84	643.00
7	6.00	289.00	6.10	474.00
8	6.00	314.00	6.10	515.00

Continuación de la Tabla 18.

N° de briqueta	% De cemento asfáltico	Estabilidad (Kg)	Flujo (mm)	Índice de rigidez (kg/cm)
9	6.00	329.00	6.10	540.00
10	6.50	296.00	6.35	467.00
11	6.50	291.00	6.35	459.00
12	6.50	260.00	6.35	409.00
13	7.00	234.00	6.60	354.00
14	7.00	296.00	6.60	449.00
15	7.00	229.00	6.60	347.00

Por último, en la Tabla 18 se muestra los resultados de estabilidad, flujo e índice de rigidez de acuerdo al ensayo Marshall para la mezcla asfáltica modificado con 7 % de escamas de PET reciclado, donde el cemento asfáltico fue de 6 %, resultando así una estabilidad de 313 kg, flujo de 6.10 mm y rigidez de 557 kg/cm.

De acuerdo a lo estipulado anteriormente, se resume lo siguiente:

4.1.1. Estabilidad

Tabla 19. Estabilidad de la mezcla asfáltica convencional y mezclas modificadas.

Muestra	Estabilidad (kg)	Variación
MAC convencional	905.00	
MAC modificado con PET: 1.00 %	949.00	4.86%
MAC modificado con PET: 3.00 %	487.00	-46.19%
MAC modificado con PET: 5.00 %	361.00	-60.11%
MAC modificado con PET: 7.00 %	313.00	-65.41%

En la Tabla 19 se observa los resultados de estabilidad de acuerdo al ensayo Marshall, donde el MAC convencional presenta un valor de 905.00 kg y sólo con el 1 % de PET se incrementa este valor a 949 kg (+ 4.86 %) a comparación de 3, 5 y 7% de escamas de PET reciclado, pues la estabilidad llega a reducirse a 313.00 kg, representa una reducción de -65.41 %.

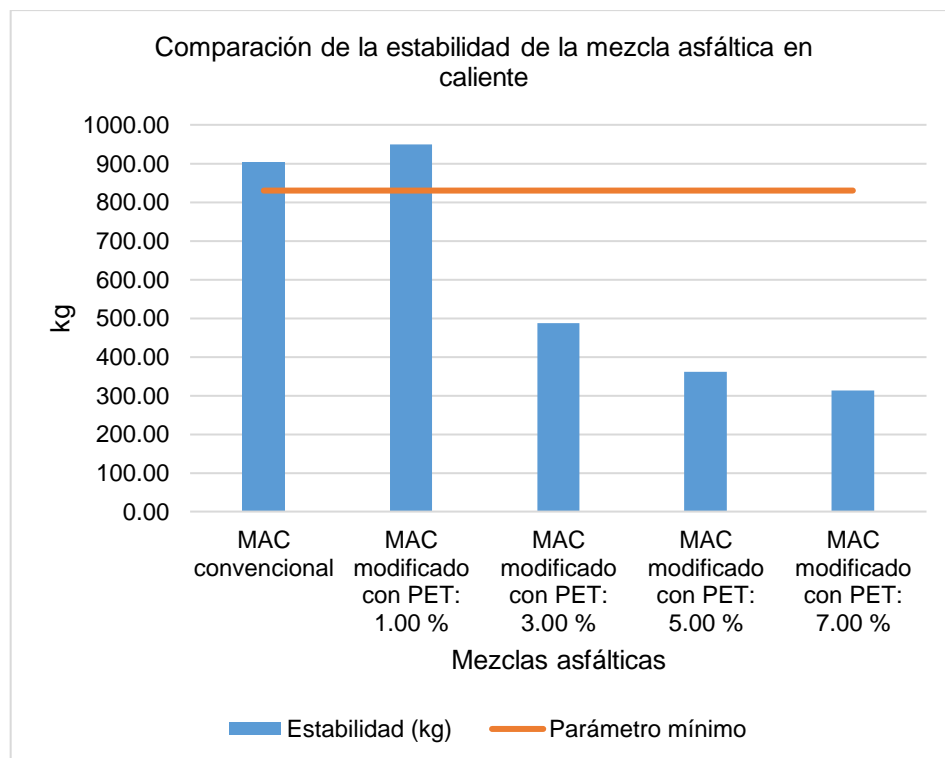


Figura 17. Estabilidad de la mezcla asfáltica convencional y mezclas modificadas con PET reciclado.

En la Figura 17 se verifica que el MAC modificado con PET al 1.00 % evidencia un aumento de la estabilidad, soportando una carga adicional de 44.00 kg, es decir, un 4.86 % más con respecto al MAC convencional, cumpliendo con el valor mínimo establecido en el manual de especificaciones técnicas generales (MTC, 2013) que es de 830 kg.

4.1.2. Flujo

Tabla 20. Flujo de la mezcla asfáltica convencional y mezclas modificadas.

Muestra	Flujo (mm)	Variación
MAC convencional	3.30	
MAC modificado con PET: 1.00 %	3.50	6.06%
MAC modificado con PET: 3.00 %	4.60	39.39%
MAC modificado con PET: 5.00 %	5.90	78.79%
MAC modificado con PET: 7.00 %	6.10	84.85%

En la Tabla 20 se muestra los resultados del flujo según el ensayo Marshall, donde el MAC convencional presenta un valor de 3.30 mm y a medida que se incrementa el contenido de escamas

de PET reciclado hasta 7.00 %, el flujo tiende a elevarse llegando a 6.10 mm.

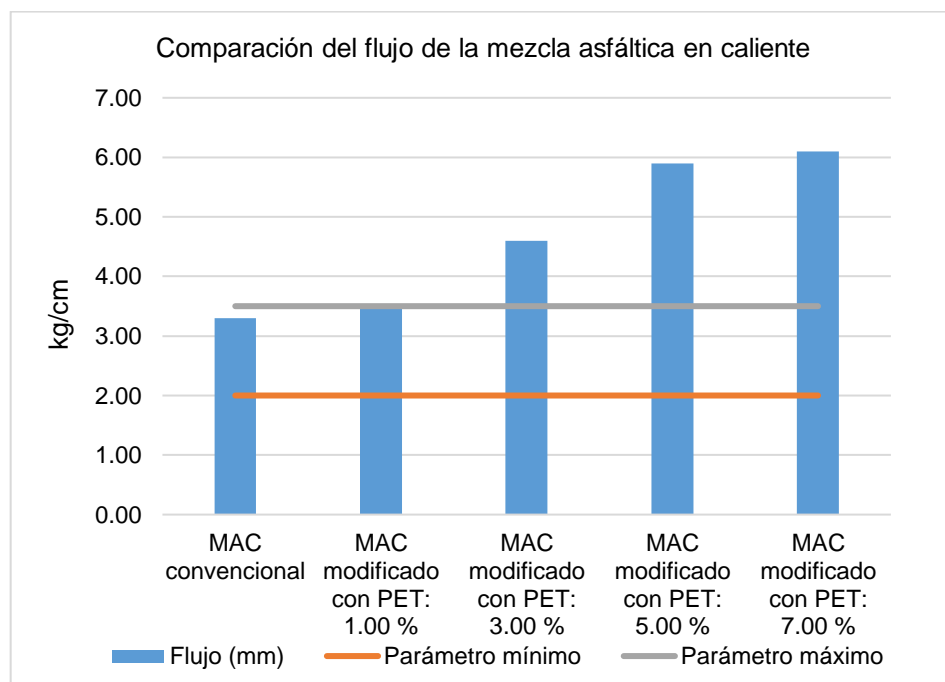


Figura 18. Flujo de la mezcla asfáltica convencional y mezclas modificadas con PET reciclado.

En la Figura 18 se muestra que el MAC modificado con PET al 1.00 % presenta un incremento mínimo del flujo, siendo más deformable en 0.20 mm, es decir, un 6.06 % más con respecto al MAC convencional, lo cual es conveniente en alturas mayores a 3000 m.s.n.m. pues se debe buscar mezclas asfálticas con valores altos en flujo y estando dentro del parámetro mínimo y máximo respecto de los requisitos establecidos en el manual de especificaciones técnicas generales (MTC, 2013).

4.1.3. Rigidez

Tabla 21. Rigidez de la mezcla asfáltica convencional y mezclas modificadas.

Muestra	Índice de rigidez (kg/cm)	Variación
MAC convencional	2846.00	
MAC modificado con PET: 1.00 %	2705.00	-4.95%
MAC modificado con PET: 3.00 %	1111.00	-60.96%
MAC modificado con PET: 5.00 %	644.00	-77.37%
MAC modificado con PET: 7.00 %	557.00	-80.43%

En la Tabla 21 se muestra los resultados del índice de rigidez de la relación estabilidad - flujo del ensayo Marshall, donde el MAC convencional presenta un valor de 2846.00 kg/cm y a medida que se incrementa el contenido de escamas de PET reciclado hasta 7.00 %, la rigidez llega a reducirse llegando 557.00 kg/cm.

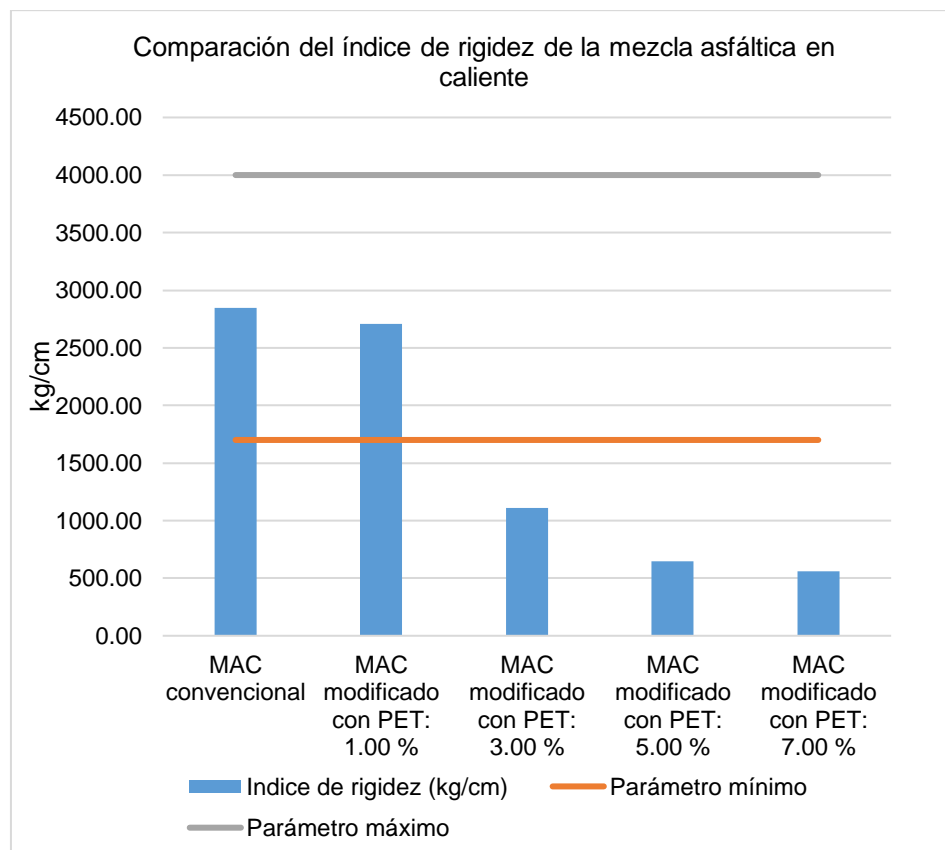


Figura 19. Rigidez de la mezcla asfáltica convencional y mezclas modificadas.

En la Figura 19 se observa que el MAC modificado con PET al 1.00 % presenta una reducción del factor rigidez, disminuyendo en 141.00 kg/cm, es decir, un 5 % menos rígido con respecto al MAC convencional, evidenciando un mejor comportamiento a las deformaciones permanentes para nuestra región, ya que en zonas de clima frío es deseable que la relación estabilidad - flujo sea de la menor magnitud posible, según los parámetro mínimo y máximo respecto de los requisitos establecidos en el manual de especificaciones técnicas generales (MTC, 2013).

4.2. Durabilidad de mezcla asfáltica con escamas de PET reciclado

Tabla 22. Resultados del ensayo Cántabro MAC convencional.

N° de espécimen	% De cemento asfáltico	Pérdida por desgaste (%)
1	5.00	10.56
2	5.50	7.03
3	6.00	7.65
4	6.50	5.53
5	7.00	5.87

En la Tabla 22 se muestra los resultados del ensayo Cántabro para la mezcla asfáltica convencional.

Tabla 23. Resultados del ensayo Cántabro MAC modificado con 1 % de PET reciclado.

N° de espécimen	% De cemento asfáltico	Pérdida por desgaste (%)
1	5.00	6.84
2	5.50	6.39
3	6.00	4.83
4	6.50	3.79
5	7.00	3.24

Asimismo, en la Tabla 23 se detalla los resultados del ensayo Cántabro para la mezcla asfáltica modificado con 1 % de escamas de PET reciclado.

Tabla 24. Resultados del ensayo Cántabro MAC modificado con 3 % de PET reciclado.

N° de espécimen	% De cemento asfáltico	Pérdida por desgaste (%)
1	5.00	11.01
2	5.50	7.55
3	6.00	5.31
4	6.50	3.00
5	7.00	2.79

Consecuentemente, la Tabla 24 especifica los resultados del ensayo Cántabro para la mezcla asfáltica modificado con 3 % de escamas de PET reciclado.

Tabla 25. Resultados del ensayo Cántabro MAC modificado con 5 % de PET reciclado.

N° de espécimen	% De cemento asfáltico	Pérdida por desgaste (%)
1	5.00	19.47
2	5.50	18.00
3	6.00	17.58
4	6.50	14.98
5	7.00	12.52

Del mismo modo, la Tabla 25 muestra los resultados del ensayo Cántabro para la mezcla asfáltica modificada con 5 % de escamas de PET reciclado.

Tabla 26. Resultados del ensayo Cántabro MAC modificado con 7 % de PET reciclado.

N° de espécimen	% De cemento asfáltico	Pérdida por desgaste (%)
1	5.00	19.98
2	5.50	18.32
3	6.00	18.97
4	6.50	18.13
5	7.00	20.27

Por último, en la Tabla 26 se especifica los resultados del ensayo Cántabro para la mezcla asfáltica modificada con 7 % de escamas de PET reciclado.

Es así que, con los contenidos óptimos de cemento asfáltico en cada una de las mezclas asfálticas se tiene:

Tabla 27. Pérdida por desgaste MAC convencional y modificado.

Muestra	Pérdida por desgaste (%)	Variación
MAC convencional	7.65	
MAC modificado con PET: 1.00 %	4.83	-36.86%
MAC modificado con PET: 3.00 %	5.31	-30.59%
MAC modificado con PET: 5.00 %	17.58	129.80%
MAC modificado con PET: 7.00 %	18.97	147.97%

En la Tabla 27 se muestra los resultados de durabilidad con la pérdida por desgaste del ensayo de Cántabro, donde la MAC convencional presenta un valor 7.65 % y a medida que se incrementa el contenido de escamas de PET reciclado hasta 7.00 %, la pérdida por desgaste tiende a elevarse llegando a 18.97 %.

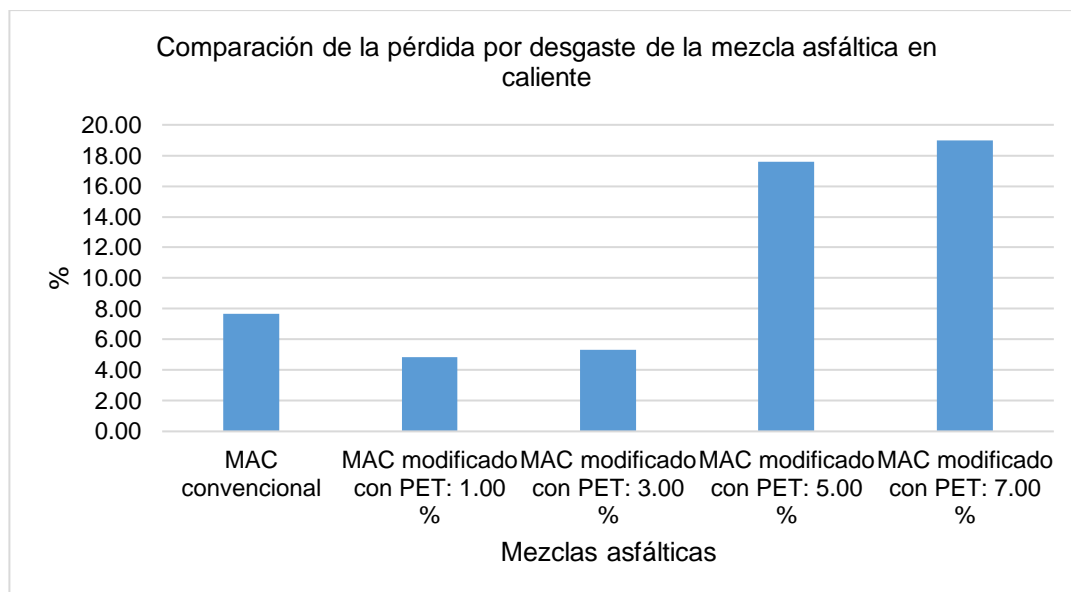


Figura 20. Ensayo de Cántabro MAC convencional - modificado

La Figura 20 revela que el MAC modificado con PET al 1.00 % muestra una variación de descenso de 2.83 %, evidenciando una reducción de pérdida por desgaste con respecto al MAC convencional.

4.3. Costo de mezcla asfáltica con escamas de PET reciclado

Se realizó el análisis de precios unitarios con el diseño óptimo del MAC convencional y MAC modificado con PET al 1.00 %, se tomaron precios actuales de venta de agregados pétreos, ligante asfáltico PEN 85/100, y escamas PET de botella de plástico.

En las siguientes tablas, se muestra el costo de ejecución de los diseños óptimos de las mezclas asfálticas reflejados en el análisis de precios unitarios tanto convencional como modificado.

Tabla 28. Análisis de precios unitarios del MAC convencional.

Partida	m ² /día	Mezcla asfáltica convencional			
		MO:	1250.00	EQ:	1250.00
Costo unitario directo por m ²					S/53.83
	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
Oficial	hh	2	0.0128	9.3	0.12
Peón	hh	10	0.064	8.43	0.54
					0.66
Materiales					
Piedra chancada de 1/2"	m ³		0.0294	60	1.76
Arena gruesa chancada	m ³		0.0443	65	2.88

Continuación de la Tabla 18.

Cemento asfáltico PEN 85/100	gal		1.788	12.5	22.35
Petróleo D-2	gal		0.49	13	6.37
					33.36
Equipos					
Herramientas manuales	%MO		5	0.66	0.03
Camión volquete 15 m ³	hm	7	0.0448	140	6.27
Rodillo tándem	hm	1	0.0064	170	1.09
Cargador sobre llantas 125-155 HP 3 yd ³	hm	1	0.0064	200	1.28
Pavimentadora sobre orugas 69 HP 10-16'	hm	1	0.0064	200	1.28
Planta asfalto en caliente 60-115 ton/h	hm	1	0.0064	840	5.38
Rodillo neumático	hm	1	0.0064	170	1.09
Grupo electrógeno 116 HP 75 KW	hm	2	0.0128	165	2.11
Grupo electrógeno 230 HP 150 KW	hm	1	0.0064	200	1.28
					19.81

En la Tabla 28 se observa que el cemento asfáltico tiene mayor incidencia en el costo de ejecución, representando un 41.52 %, equivalente a 1.78 galones por m² del costo total.

Tabla 29. Análisis de precios unitarios MAC modificado PET 1.00 %.

Partida	Mezcla asfáltica modificada con 1 % de PET reciclado				
Rendimiento	m ² /día		MO: 1250.00	EQ: 1250.00	
Costo unitario directo por m ²					S/54.95
	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
Oficial	Hh	2	0.0128	9.3	0.12
Peón	Hh	10	0.064	8.43	0.54
					0.66
Materiales					
Escamas de PET	Kg		1.09	0.7	0.76
Piedra chancada de 1/2"	m ³		0.029	60	1.74
Arena gruesa chancada	m ³		0.043	65	2.8
Cemento asfáltico PEN 85/100	Gal		1.825	12.5	22.81
Petróleo D-2	Gal		0.49	13	6.37
					34.48
Equipos					
Herramientas manuales	%MO		5	0.66	0.03
Camión volquete 15 m ³	Hm	7	0.0448	140	6.27
Rodillo tándem	Hm	1	0.0064	170	1.09
Cargador sobre llantas 125-155 HP 3 yd ³	Hm	1	0.0064	200	1.28
Pavimentadora sobre orugas 69 HP 10-16'	Hm	1	0.0064	200	1.28

Continuación de la Tabla 18.

Planta asfalto en caliente 60-115 ton/h	Hm	1	0.0064	840	5.38
Rodillo neumático	Hm	1	0.0064	170	1.09
Grupo electrógeno 116 HP 75 kW	Hm	2	0.0128	165	2.11
Grupo electrógeno 230 HP 150 kW	Hm	1	0.0064	200	1.28
					19.81

En la **Tabla 29** se registra que las escamas de PET representan 1.38 % de incidencia correspondiente a 1.09 kg mientras que el cemento asfáltico presenta un 41.58 %, equivalente a 1.82 galones por m² del costo total, evidenciando mayor incidencia en el costo ejecución.

Tabla 30. Precio costo ejecución por m².

Muestra	Costo de ejecución (S/)	Variación (%)
MAC convencional	53.83	
MAC modificado con PET: 1.00 %	54.95	2.08%

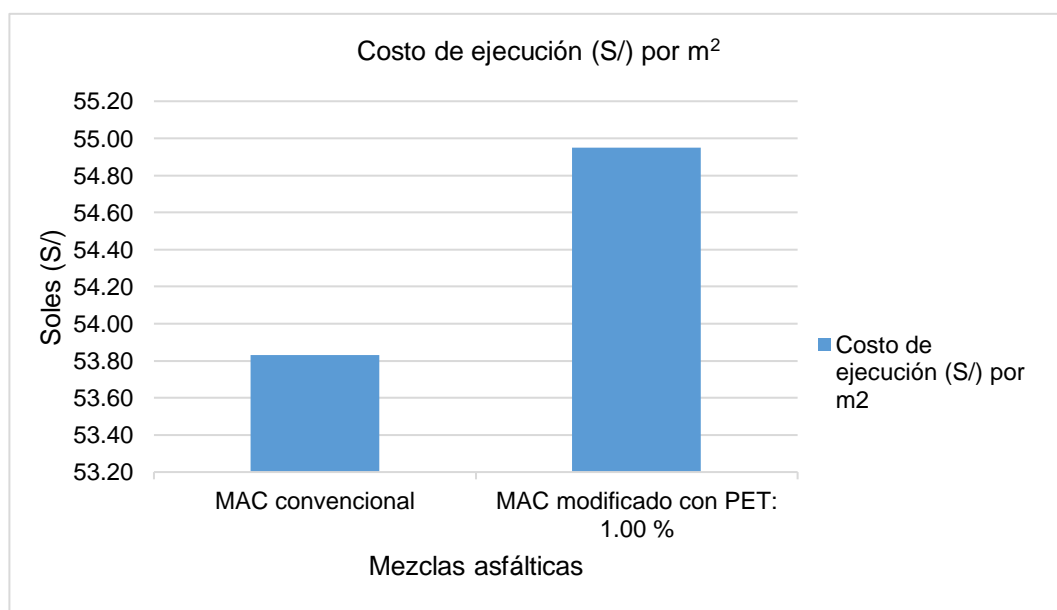


Figura 21. Costo ejecución MAC convencional y modificado PET 1 %

En la Figura 21 se observa que el costo ejecución del MAC modificado con PET al 1.00 %, es de S/ 54.95 soles, que muestra una variación de 2.08 %, equivalente a S/ 1.12 soles, evidenciando un incremento con respecto al costo del MAC convencional, que es de S/ 53.83 soles.

4.3.1. Cantidad potencial de PET para carreteras asfaltadas

En esta sección se determinó la cantidad de PET que podría ser usada en la producción de mezclas asfálticas en caliente por kilómetro y el cálculo se llevó a cabo considerando los siguientes parámetros:

- Ancho de carril de 3.60 m.
- Espesor capa de rodadura en concreto asfáltico de 2”.
- Peso de botella PET típica de 1.5 L de 40 g.

Tabla 31. Número de botellas para la producción de mezcla asfáltica por km.

Mezcla	PET (%)	Cantidad de PET (Kg)	Número de botellas (Und)
Modificado	1.00	3924.00	98100.00

La Tabla 31 especifica la cantidad necesaria de botellas de PET para la producción de mezclas asfálticas necesaria en un kilómetro de carpeta asfáltica con ancho de 3.60 m.

4.4. Prueba hipótesis

Para la determinación de la prueba estadística a utilizar en cada una de las hipótesis planteadas, en primera instancia se determinó la normalidad de los datos:

Tabla 32. Normalidad de los datos de estabilidad de las mezclas asfálticas.

Tipo de mezcla asfáltica	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Convencional sin adición de PET	0.93	16	0.22
Estabilidad (Kg) Modificado con PET al 1%	0.98	16	0.94
Modificado con PET al 3%	0.93	16	0.21
Modificado con PET al 5%	0.97	16	0.91
Modificado con PET al 7%	0.94	16	0.33

En la Tabla 32 se muestra que el nivel de significancia obtenido es mayor a 0.05 lo cual representa que los datos presentan una distribución normal, por lo cual se utilizará el estadístico ANOVA.

Tabla 33. Normalidad de los datos de flujo de las mezclas asfálticas.

Tipo de mezcla asfáltica		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Flujo (mm)	Convencional sin adición de PET	0.92	16	0.17
	Modificado con PET al 1%	0.94	16	0.33
	Modificado con PET al 3%	0.90	16	0.07
	Modificado con PET al 5%	0.90	16	0.07
	Modificado con PET al 7%	0.91	16	0.11

Del mismo modo, en la Tabla 33 se muestra que el nivel de significancia obtenido es mayor a 0.05 lo cual representa que los datos presentan una distribución normal, por lo cual se utilizará el estadístico ANOVA.

Tabla 34. Normalidad de los datos de rigidez de las mezclas asfálticas.

Tipo de mezcla asfáltica		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Rigidez (kg/cm)	Convencional sin adición de PET	0.93	16	0.28
	Modificado con PET al 1%	0.94	16	0.30
	Modificado con PET al 3%	0.92	16	0.16
	Modificado con PET al 5%	0.92	16	0.17
	Modificado con PET al 7%	0.93	16	0.26

La Tabla 34 se detalla que el nivel de significancia obtenido es mayor a 0.05 lo cual representa que los datos presentan una distribución normal, por lo cual se utilizará el estadístico ANOVA.

Tabla 35. Normalidad de los datos de pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas.

Tipo de mezcla asfáltica		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Durabilidad de pérdida por desgaste (%)	Convencional sin adición de PET	0.82	16	0.01
	Modificado con PET al 1%	0.86	16	0.02
	Modificado con PET al 3%	0.84	16	0.01
	Modificado con PET al 5%	0.85	16	0.02
	Modificado con PET al 7%	0.84	16	0.01

Asimismo, la Tabla 35 especifica que el nivel de significancia obtenido es menor a 0.05 lo cual representa que los datos presentan una distribución no normal, por lo cual se utilizará el estadístico Kruskal – Wallis.

Tabla 36. Normalidad de los costos de las mezclas asfálticas.

Tipo de Mezcla asfáltica específico		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Costo de ejecución (S/)	Convencional sin adición de PET	0.89	16	0.05
	Modificado con PET al 1%	0.87	16	0.03
	Modificado con PET al 3%	0.82	16	0.01
	Modificado con PET al 5%	0.90	16	0.08
	Modificado con PET al 7%	0.91	16	0.12

Por último, en la Tabla 36 se detalla que algunos de los niveles de significancia obtenidos son menor a 0.05, por lo tanto, se establece que los datos presentan una distribución no normal, por lo cual se utilizará el estadístico Kruskal – Wallis.

4.4.1. Pruebas de hipótesis específicas

a) Hipótesis específica A

Con respecto a la problemática siguiente: ¿De qué manera las escamas de tereftalato de polietileno reciclado inciden en el desempeño estructural de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas?, se planteó la siguiente hipótesis nula (H_0) y alterna (H_1) respectivamente:

- **H_0 :** Las escamas de tereftalato de polietileno reciclado no inciden positivamente en el desempeño estructural de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas.
- **H_1 :** Las escamas de tereftalato de polietileno reciclado inciden positivamente en el desempeño estructural de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas.

De acuerdo a la normalidad de los datos, se consideró la prueba estadística ANOVA:

Tabla 37. ANOVA para la hipótesis específica A.

Indicadores		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Estabilidad (Kg)	Entre grupos	5739712.95	4	1434928.24	179.28	0.00
	Dentro de grupos	600296.94	75	8003.96		
	Total	6340009.89	79			
Flujo (mm)	Entre grupos	95.81	4	23.95	109.71	0.00
	Dentro de grupos	16.37	75	0.22		
	Total	112.19	79			
Rigidez (kg/cm)	Entre grupos	80139266.46	4	20034816.61	104.73	0.00
	Dentro de grupos	14347114.42	75	191294.86		
	Total	94486380.87	79			

Según la Tabla 37 el nivel de significancia resultante es menor 0.05 esto debido a que existe diferencia significativa entre los grupos evaluados, entonces se deduce que las escamas de PET sí inciden positivamente en el desempeño estructural de la mezcla asfáltica, aceptándose la hipótesis alterna planteada.

Adicional a ello se realizó la comparación de grupos a fin de determinar qué dosificación se parece más a la mezcla asfáltica convencional respecto a sus indicadores:

Tabla 38. Prueba post hoc Tukey para la comparación de grupos de desempeño estructural.

Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
Estabilidad (Kg)	Convencional sin adición de PET	Modificado con PET al 1%	-13.31	31.63	0.99	-101.73	75.1
		Modificado con PET al 3%	403.13*	31.63	0	314.71	491.54
		Modificado con PET al 5%	563.75*	31.63	0	475.33	652.17
		Modificado con PET al 7%	601.63*	31.63	0	513.21	690.04
Flujo (mm)	Convencional sin adición de PET	Modificado con PET al 1%	-0.06	0.2	1	-0.63	0.51
		Modificado con PET al 3%	-0.56	0.2	0.06	-1.13	0.01
		Modificado con PET al 5%	-1.83*	0.2	0	-2.4	-1.26
		Modificado con PET al 7%	-2.06*	0.2	0	-2.63	-1.49
Rigidez (kg/cm)	Convencional sin adición de PET	Modificado con PET al 1%	55.56	166.08	1	-408.68	519.8
		Modificado con PET al 3%	1273.13*	166.08	0	808.88	1737.37
		Modificado con PET al 5%	1875.78*	166.08	0	1411.54	2340.02
		Modificado con PET al 7%	1921.44*	166.08	0	1457.2	2385.68

En la Tabla 38, se detalla el estadístico Tukey, donde se compara la estabilidad, flujo y rigidez del MAC convencional y MAC modificado con PET 1, 3, 5 y 7 %, donde se verifica que el MAC modificado con PET 1 %, presenta un valor de significancia mayor a 0.05, es decir, no existe diferencias significativas con este grupo; por tanto, se verifica, la estabilidad, flujo y rigidez de la mezcla asfáltica en caliente se conserva al modificarlo con 1 % de PET.

b) Hipótesis específica B

Con respecto a la problemática siguiente: ¿Cuál es la influencia de las escamas de tereftalato de polietileno reciclado en la durabilidad de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas?, se planteó la siguiente hipótesis nula (H_0) y alterna (H_1) respectivamente:

- **H₀**: Las escamas de tereftalato de polietileno reciclado no influyen positivamente en la durabilidad de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas.
- **H₁**: Las escamas de tereftalato de polietileno reciclado influyen positivamente en la durabilidad de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas.

De acuerdo a la normalidad de los datos, se consideró la prueba estadística Kruskal - Wallis:

Tabla 39. Kruskal – Wallis para la hipótesis específica B.

Hipótesis nula	Prueba	Significancia
La distribución de durabilidad de pérdida por desgaste es la misma entre las categorías de mezclas asfálticas	Prueba de Kruskal - Wallis para muestras independientes	0.00

Según la Tabla 39 se tiene la hipótesis nula que especifica que no existe diferencia entre los grupos de las mezclas asfálticas, no obstante se cuenta con una significancia menor a 0.05, con lo cual se rechaza tal hipótesis, deduciendo así que la utilización de

escamas de tereftalato de polietileno reciclado sí influye positivamente en la durabilidad de las mezclas asfálticas, aceptando de esta manera la hipótesis de la investigación.

Adicional a ello se realizó la comparación de grupos a fin de determinar qué dosificación difiere más de mezcla asfáltica convencional:

Tabla 40. Comparación de grupos de durabilidad.

Grupos		Estadístico de prueba	Estándar error	Desv. Estadística de prueba	Significancia	Sig. Ajus.
Convencional sin adición de PET	Modificado con PET al 1%	15.31	8.21	1.87	0.06	0.62
	Modificado con PET al 3%	11.88	8.21	1.45	0.15	1.00
	Modificado con PET al 5%	-24.81	8.21	-3.02	0.00	0.03
	Modificado con PET al 7%	-37.06	8.21	-4.52	0.00	0.00

En la Tabla 40, se compara la durabilidad del MAC convencional y MAC modificado con PET 1, 3, 5 y 7 %, donde se verifica que el MAC modificado con PET al 5 y 7 % difiere del MAC convencional; no obstante, al modificarlo con PET al 1 y 3 % no se presenta diferencias significativas, sin embargo con PET al 5 y 7 % se estadístico de prueba negativos, lo cual no se espera en la mezcla asfáltica, siendo así se descarta estos porcentajes.

c) Hipótesis específica C

Con respecto a la problemática siguiente: ¿En qué medida las escamas de tereftalato de polietileno reciclado varían el costo de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas?, se planteó la siguiente hipótesis nula (H_0) y alterna (H_1) respectivamente:

- **H_0 :** Las escamas de tereftalato de polietileno reciclado varían significativamente el costo de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas.

- **H₁**: Las escamas de tereftalato de polietileno reciclado no varían significativamente el costo de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas.

De acuerdo a la normalidad de los datos, se consideró la prueba estadística Kruskal - Wallis:

Tabla 41. Kruskal - Wallis para la hipótesis específica C.

Hipótesis nula	Prueba	Significancia
La distribución de costo de ejecución es la misma entre las categorías de mezclas asfálticas	Prueba de Kruskal - Wallis para muestras independientes	0.317

En la Tabla 41 se tiene la hipótesis nula que especifica que no existe diferencia entre los grupos de las mezclas asfálticas, lo cual con una significancia mayor a 0.05, se acepta tal hipótesis, deduciendo así que la utilización de escamas de tereftalato de polietileno reciclado no varían el costo de las mezclas asfálticas, aceptando de esta manera la hipótesis de la investigación.

4.4.2. Prueba de hipótesis general

Con respecto a la problemática general siguiente: ¿Cuál es el resultado del análisis técnico – económico de mezclas asfálticas con tereftalato de polietileno reciclado para la construcción de carreteras asfaltadas?, se planteó la siguiente hipótesis nula (H_0) y alterna (H_1) respectivamente:

- **H₀**: Del análisis técnico – económico de mezclas asfálticas en caliente con tereftalato de polietileno reciclado, se tiene que éste no mejora el desempeño estructural y la durabilidad, además de variar el costo para la construcción de carreteras asfaltadas.
- **H₁**: Del análisis técnico – económico de mezclas asfálticas en caliente con tereftalato de polietileno reciclado, se tiene que éste mejora el desempeño estructural y la durabilidad, además

de no variar significativamente el costo para la construcción de carreteras asfaltadas.

Tabla 42. Resumen de prueba de hipótesis A, B y C.

Ítem	Indicadores	Prueba de hipótesis
Hipótesis específica A	Estabilidad	El contenido de escamas de PET reciclado incide positivamente en la estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente; más de la comparación de grupos se tiene que con 1 % de PET, no existiendo diferencias con la mezcla patrón siendo esta situación favorable a diferencia de estabilidad de las mezclas asfáltica en caliente con 3, 5 y 7 % de PET que se ve reducida generando diferencias significativas.
	Flujo	El contenido de escamas de PET reciclado influye positivamente en el flujo de la mezcla asfáltica en caliente; más de la comparación de grupos se tiene que con 1 y 3 % de PET, no existe diferencias con la mezcla patrón siendo esta situación favorable a diferencia del flujo de las mezclas asfáltica en caliente con 5 y 7 % de PET que se ve reducida generando diferencias significativas.
	Rigidez	El contenido de escamas de PET reciclado incide positivamente en la rigidez de la mezcla asfáltica; más de la comparación de grupos se tiene que con 1 % de PET, no presenta diferencias con la mezcla patrón siendo esta situación favorable a diferencia del flujo de las mezclas asfáltica en caliente con 3, 5 y 7 % de PET que se ve reducida generando diferencias significativas.
Hipótesis específica B	Pérdida por desgaste	El contenido de escamas de PET reciclado incide positivamente en la durabilidad de la mezcla asfáltica; más de la comparación de grupos se tiene que con 1 y 3 % de PET, no presenta diferencias con la mezcla patrón siendo esta situación favorable a la pérdida por desgaste de las mezclas asfáltica en caliente con 5 y 7 % de PET que se ve reducida generando diferencias significativas.
Hipótesis específico C	Costo de ejecución	El contenido de escamas de PET reciclado no varía significativamente en el costo de la mezcla asfáltica en caliente.

Al respecto, en la Tabla 42 se detalla el resumen de las pruebas de hipótesis específica A, en la cual se aceptó la hipótesis alterna (H_1), es decir que las escamas de tereftalato de polietileno sí inciden positivamente en el desempeño estructural de la mezcla asfáltica.

Asimismo, se detalla el resumen de la prueba hipótesis específica B, en la cual se aceptó la hipótesis alterna (H_1), es decir

que las escamas de tereftalato de polietileno sí inciden positivamente en la durabilidad de la mezcla asfáltica.

Por último, se detalla el resumen de la prueba hipótesis específica C, en la cual se aceptó la hipótesis alterna (H_1), es decir que las escamas de tereftalato de polietileno no varían significativamente el costo de la mezcla asfáltica.

Por tanto, al evidenciar, que se ha realizado la prueba de hipótesis para los problemas específicos A, B y C, se acepta la hipótesis general alterna y se rechaza la hipótesis general nula.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Desempeño estructural de mezcla asfáltica con escamas de PET reciclado

Para determinar el porcentaje de tereftalato de polietileno reciclado a incorporar en las mezclas asfálticas en caliente y conservar el desempeño estructural en la construcción de carreteras asfaltadas, se realizó el ensayo de Marshall con el cual se obtuvo: estabilidad, flujo y módulo de rigidez, con una dosificación de escamas de PET al 1, 3, 5 y 7 %, como parcial de agregado fino.

Siendo así que en la Tabla 19 se observa los resultados del ensayo Marshall, donde la estabilidad del MAC convencional presenta 905.00 kg y a medida que se incrementa el contenido de escamas de PET reciclado hasta 7 %, la estabilidad llega a reducirse llegando a 313.00 kg. Además, se tiene que, con la adición de escamas de PET al 1 % un valor de 949.00 kg, soportando una carga adicional de 44.00 kg, es decir, un 4.86 % más, evidenciando un aumento de la estabilidad con respecto a la MAC convencional. Según Corbacho (2019), menciona que al incorporar 1.20 % de fibras de PET obtuvo 856.30 kg de estabilidad, disminuyendo un 9.6 % respecto a su mezcla asfáltica convencional. Se puede atribuir a esta ligera

deferencia factores como la variación de alturas de las ciudades, tipo de PEN ya que en dicha investigación se usó un PEN 120/150 y como factor resaltante la cantidad de PET de 1.20 % que incorporó, en este caso se determinó que a mayor porcentaje de PET en la mezcla asfáltica la estabilidad tiende a disminuir; por otro lado Alzate (2017) al incorporar 1 % de PET en tamaños inferiores a 2 mm como agregado fino, obtuvo una estabilidad de 1367.9 kg, verificándose con la investigación, que a menor tamaño de partículas de PET la estabilidad tiende a incrementarse y concluye mencionando que el PET triturado, incide positivamente en el desempeño estructural de la mezcla asfáltica. También mencionar que según los requerimientos de la norma MTC E-504 del Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG - 2013, la estabilidad obtenida en la investigación es mayor 830.00 kg, siendo este el mínimo, tal como se detalla en la Tabla 3.

Asimismo, se tiene la Tabla 20 donde se muestra los resultados del flujo Marshall, donde la MAC convencional presentó un valor de 3.30 mm y a medida que se incrementa el contenido de escamas de PET reciclado hasta 7 %, el flujo tiende a elevarse llegando a 6.10 mm. Además, se tiene que, con la adición de escamas de PET al 1 % un valor de 3.50 mm, presentando un incremento mínimo del flujo, siendo más deformable en 0.20 mm, es decir, un 6.06 % más con respecto al MAC convencional. Dicho resultado en comparación a lo que establece Corbacho (2019), donde menciona que al incorporar 1.20 % de fibras de PET obtuvo 3.68 mm de flujo, incrementándose mínimamente en 6.52 % respecto a su mezcla asfáltica convencional, varía ligeramente del flujo que se obtuvo en la presente investigación; en este caso se determinó que a mayor porcentaje de PET en la mezcla asfáltica el flujo tiende a incrementar; por otro lado Alzate (2017) al incorporar 1 % de PET en tamaños inferiores a 2 mm como agregado fino, obtuvo de flujo 3.4 mm, se menciona a comparación de los resultados de la investigación que a menor tamaño de partículas de PET el flujo tiende a mantenerse y concluye mencionando que el PET triturado, incide positivamente en el desempeño estructural de la mezcla asfáltica.

También mencionar que según los requerimientos de la norma MTC E-504 del Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013, el flujo obtenido en la investigación es conveniente para zonas de temperaturas bajas (alturas mayores a 3000 m.s.n.m.) donde se requiere mezclas asfálticas con valores altos en flujo; asimismo, se resalta que, el valor de flujo obtenido (3.5 mm) se encuentra dentro del rango del valor mínimo 2.00 mm y máximo 3.50 mm de los requisitos establecidos, tal como se especifica en la Tabla 3.

Seguidamente, se tiene la Tabla 21 donde se precisa los resultados del índice de rigidez de la relación estabilidad - flujo del ensayo Marshall, donde el MAC convencional presentó un valor de 2846.00 kg/cm y a medida que se incrementa el contenido de escamas de PET reciclado hasta 7 %, la rigidez llega a reducirse llegando 557.00 kg/cm. Además, es dable mencionar que, con la adición de escamas de PET al 1.00 % se obtuvo un valor de 2705.00 kg/cm, que representa una reducción del factor rigidez, disminuyendo en 141.00 kg/cm, es decir, un 5 % menos rígido con respecto al MAC convencional; no obstante, esto es beneficioso, pues según Tueros (2017), en su investigación determina que, al obtener menor rigidez en la mezcla asfáltica, mejora el comportamiento de la superficie de rodadura frente al ahuellamiento. También mencionar que según los requerimientos de la norma MTC E-504 del Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013, la rigidez obtenida en la investigación, está dentro de los parámetro mínimo 1700 kg/cm y máximo 4000 kg/cm de los requisitos establecidos, evidenciando un mejor comportamiento a las deformaciones permanentes para zonas de bajas temperaturas, ya que en zonas de clima frío es deseable que la relación estabilidad - flujo sea de la menor magnitud posible.

Otro aspecto importante considerado fue la estadística inferencial, donde se realizó la prueba ANOVA de las sub variables: Estabilidad, flujo y rigidez, de la mezcla asfáltica convencional y modificado con PET, donde según la Tabla 37 el nivel de significancia resultante es menor 0.05 esto debido a que existe diferencia significativa entre los grupos evaluados, entonces se

deduce que las escamas de tereftalato de polietileno sí inciden positivamente en el desempeño estructural de la mezcla asfáltica, por lo cual se acepta la hipótesis alterna planteada; además en la Tabla 38, se detalla el estadístico Tukey, donde se compara la estabilidad, flujo y rigidez del MAC convencional y MAC modificado con PET 1, 3, 5 y 7 %, verificándose que el MAC modificado con PET 1 %, presenta un valor de significancia mayor a 0.05 , es decir, no existe diferencias significativas con este grupo; por tanto, se verifica, la estabilidad, flujo y rigidez de la mezcla asfáltica en caliente se conserva al modificarlo con 1 % de PET.

5.2. Durabilidad de mezcla asfáltica con escamas de PET reciclado

Se tiene la Tabla 27 donde la pérdida por desgaste del ensayo de Cántabro de MAC convencional, presentó un valor de 7.65 % y a medida que se incrementa el contenido de escamas de PET reciclado hasta 7.00 %, la pérdida por desgaste tiende a elevarse llegando a 18.97 %. Además, se tiene que, con la adición de escamas de PET al 1 % se obtuvo un valor de 4.83 % que representa una variación de descenso de 2.83 %, evidenciando una reducción de pérdida por desgaste con respecto al MAC convencional. Tueros (2017), en la mezcla asfáltica convencional, obtuvo 52.30 % de pérdida por desgaste, mientras que su mezcla modificada, se desgastó 20.56 %, concluyendo que la mezcla asfáltica modificada, mejora la durabilidad y duración. Comparando con la presente investigación se incrementa en 15.73 %, es decir que al incorporar 1 % de PET, se tiene mayor durabilidad y duración de la mezcla asfáltica.

Asimismo, en la Tabla 39 se tiene una significancia menor a 0.05, deduciendo así que la utilización de escamas de tereftalato de polietileno reciclado sí modifican la durabilidad de las mezclas asfálticas; además en la Tabla 40, se compara la durabilidad del MAC convencional y MAC modificado con PET 1, 3, 5 y 7 %, donde se verifica que el MAC modificado con PET al 5 y 7 % difiere del MAC convencional; no obstante, al modificarlo con PET al 1 y 3 % no se presenta diferencias significativas, sin embargo

con PET al 5 y 7 % presentan estadístico de prueba negativos, lo cual no se espera en la mezcla asfáltica, siendo así se descarta estos porcentajes.

5.3. Costo de mezcla asfáltica con escamas de PET reciclado

Para determinar el costo se consideró el porcentaje óptimo de tereftalato de polietileno a incorporar en las mezclas asfálticas en caliente, se realizó el análisis de precios unitarios con el diseño óptimo del MAC convencional y MAC modificado con 1 % de PET. Siendo así que, en la Tabla 28 especifica el costo del análisis de precios unitarios para el MAC convencional en S/ 53.83 por m², mientras que el costo del MAC modificado con PET 1 % es de S/ 54.95 por m², como se verifica en la Tabla 29, obteniéndose así una variación de 2.08 % más, equivalente a S/ 1.12 soles, evidenciando un incremento con respecto al costo de la MAC convencional. Silvestre (2017), manifiesta que el costo total de mezcla asfáltica adicionado con plástico reciclado es más económica en comparación al costo de la mezcla asfáltica convencional, lo cual se discrepa pues el precio del PET reciclado es mas costoso que los agregados pétreos; no obstante, esto puede variar cuando se de una optimización del procesamiento del PET.

En cuanto a la prueba estadística inferencial, se realizó la prueba de Kruskal – Wallis lo cual con una significancia mayor a 0.05, se deduce que la utilización de escamas de tereftalato de polietileno reciclado no modifica el costo de las mezclas asfálticas, aceptando de esta manera la hipótesis de la investigación.

De acuerdo a los resultados obtenidos y mencionados anteriormente, se verifica que los valores del ensayo Marshall para la mezcla asfáltica modificado con PET al 1 %, tienen mejores resultados en el desempeño estructural, además de cumplir con lo estipulado por lo establecido por el Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013 pues presenta una estabilidad de 928.00 kg, un flujo 3.40 mm, rigidez de 2279.00 kg/cm y durabilidad con 4.83 % de desgaste, en comparación a los resultados de la mezcla asfáltica

convencional que tiene una estabilidad de 905.00 kg, flujo de 3.20 mm, rigidez de 2494.00 kg/cm y durabilidad con 18.97 % de desgaste. Es dable mencionar que, al obtener un aumento en la estabilidad, proporciona mayor resistencia a deformaciones permanentes (Silvestre, 2017), asimismo es sabido que en zonas con alturas mayores a 3000 m.s.n.m. se busca mezclas asfálticas con valores altos en flujo y bajo en rigidez para evitar la deformación en mezcla asfáltica esto según la EG-2013 y al tener menos pérdida por desgaste mejora el comportamiento y durabilidad de la superficie de rodadura frente al ahuellamiento (Tueros, 2017), evidenciando una mayor duración y vida útil; de la misma forma se comprueba que no existe diferencias significativas en el costo de ejecución. Por lo tanto, se concluye que sí existe ventajas al incorporar tereftalato de polietileno reciclado en mezclas asfálticas en caliente ya que incide positivamente en el desempeño estructural.

En cuanto a la estadística inferencial se tiene, la Tabla 42 donde se compara cada uno de los grupos estudiados, siendo así que la mezcla asfáltica modificada con 1 % de escamas de PET, conserva su desempeño estructural: estabilidad, flujo, rigidez y durabilidad, así como el costo ejecución, no existiendo diferencias significativas, por lo tanto existe ventajas técnicas y económicas.

CONCLUSIONES

1. Del análisis técnico – económico de mezclas asfálticas con tereftalato de polietileno reciclado, se tiene que éste mejora el desempeño estructural y durabilidad, además no varía significativamente el costo para la construcción de carreteras asfaltadas bajo un contenido óptimo de 1 % de PET en relación al agregado fino.
2. Las escamas de tereftalato de polietileno reciclado inciden positivamente en el desempeño estructural de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras, donde según el porcentaje óptimo de 1 % de PET en relación al agregado fino, con un contenido de asfalto de 6 %, la mezcla asfáltica presenta una estabilidad de 905.00 kg (4.86 % más respecto a la MAC convencional), flujo de 4.20 mm (6.06 % más respecto a la MAC convencional) y rigidez de 2279.00 kg/cm (4.95 % menos respecto a la MAC convencional); además de cumplir con los requerimientos de la norma MTC E-504 del Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013.
3. Las escamas de tereftalato de polietileno reciclado influyen positivamente en la durabilidad de la mezcla asfáltica, pues para el porcentaje óptimo de 1 % de PET en relación al agregado fino con un contenido de asfalto de 6 % se tiene una pérdida de desgaste de 4.83 % siendo este menor en comparación a la MAC convencional en convencional que fue de 7.65 %, representando un 36.86 % menos.
4. Las escamas de tereftalato de polietileno reciclado no varían significativamente el costo de la mezcla asfáltica, pues considerando el porcentaje óptimo de 1% de PET reciclado es de S/ 54.95 por m², mientras que el costo de las mezclas asfálticas convencional es de S/ 53.83 por m², existiendo una variación de 2.08 %, equivalente a S/ 1.12 más que la mezcla asfáltica convencional; no obstante, estadísticamente con un nivel de significancia de 0.317 esta variación no es significativa para la construcción de carreteras asfaltadas.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a las municipalidades distritales, provinciales y regionales la utilización del asfalto modificado con Tereftalato de polietileno reciclado en las vías, pues es una alternativa eficiente que garantizará una mayor durabilidad de las carreteras asfaltadas ofreciendo seguridad y confort al usuario.
2. Se recomienda a los próximos investigadores, extender la presente investigación utilizando escamas de PET como parcial de agregado fino en porcentajes menores a 1 %.
3. Se recomienda a los interesados de ampliar la investigación referente al PET reciclado realizar ensayos tales como: La Rueda Cargada de Hamburgo, con el fin de conocer la profundidad máxima de deformación alcanzada; también construir tramos de prueba en vías (escala real), para valorar directamente el comportamiento de cada uno de los paños y así visualizar la depresión del ahuellamiento originados por el tráfico, a fin de verificar, corroborar o encontrar diferencias con los ensayos de laboratorio con los de escala real.
4. Se recomienda a las Entidades Municipales de los distritos de Huancayo, Chilca y El Tambo, así como el Gobierno Regional Junín, considerar esta investigación y los hallazgos arribados en el diseño de mezclas asfálticas en caliente incorporados con PET reciclado en 1 %, como un parámetro y referente técnico para la construcción de carreteras asfaltadas, así como en la elaboración de proyectos y ejecución de obras viales urbanas en la Ciudad de Huancayo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almudena, M. (2017). Plastisoil el pavimento de plástico reciclado.
- Angeles, P. (2019). Las ventajas y desventajas de los plásticos: alternativas respetuosas con el medio ambiente. Recuperado de <https://espaciociencia.com/las-ventajas-y-desventajas-de-los-plasticos/>
- Asphalt Institute. (1992). Manual MS-22 principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente.
- Avellán, M. (2007). Asfaltos modificados con polímeros (Universidad de San Carlos de Guatemala). Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2705_C.pdf
- Ballena, C. (2016). Utilización de fibras de polietileno de botellas de plástico para su aplicación en el diseño de mezclas asfálticas ecológicas en frío (Universidad Señor de Sipán). Recuperado de <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/2256>
- Berrío, A. (2017). Diseño y evaluación del desempeño de una mezcla asfáltica tipo MSC-19 con incorporación de tereftalato de polietileno reciclado como agregado constitutivo (Universidad Nacional de Colombia). Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/63583/1/1128439758.2017.pdf>
- Corbacho, J. (2019). Análisis de la estabilidad Marshall y la deformación permanente mediante el ensayo de rueda cargada de Hamburgo de una mezcla asfáltica modificada en caliente con fibras de tereftalato de polietileno reciclado en la ciudad del cusco - 2018 (Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco). Recuperado de <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/UNSAAC/3571>
- Google Earth. (2020). Google Earth Pro. Recuperado de <https://www.google.es/earth/download/gep/agree.html>
- Greenpeace, E. (2018). Un millón de acciones contra el plástico.

- Loria, L. (2017). Todavía crees que con la estabilidad-Flujo Marshall se puede realmente predecir el desempeño de una Mezcla asfáltica. Recuperado de <http://ingenieriavialfundamental.blogspot.com/2017/07/todavia-crees-que-con-la-estabilidad.html>
- Luque, A. (2019). Influencia de la incorporación del tereftalato de polietileno en el comportamiento de los parámetros del diseño Marshall del concreto asfáltico (Universidad Nacional del Altiplano). Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/13230>
- MTC. (2013). Manual de carreteras - Especificaciones técnicas generales para construcción (EG-2013) (Tomo I). Recuperado de [https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual de Carreteras - Especificaciones Tecnicas Generales para Construcción - EG-2013 - \(Versión Revisada - JULIO 2013\).pdf](https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual de Carreteras - Especificaciones Tecnicas Generales para Construcción - EG-2013 - (Versión Revisada - JULIO 2013).pdf)
- MTC. (2014). Manual de carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos (Sección suelos y pavimentos) (p. 305). p. 305. Recuperado de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES DE CARRETERAS 2019/MC-05-14 Seccion Suelos y Pavimentos_Manual_de_Carreteras_OK.pdf
- MTC. (2016). Manual de ensayo de materiales. Recuperado de https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual Ensayo de Materiales.pdf
- MTC. (2018). "Glosario de términos" de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial (p. 27). p. 27. Lima - Perú.
- MTC. (2019). Informes y publicaciones / Transportes. Recuperado de <https://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/index.html>
- Ortiz, B. (2017). Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método de Marshall (Universidad de San Carlos de Guatemala). Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/81111/>

- Padilla, A. (2004). Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista (Universitat Politècnica de Catalunya). Recuperado de <http://hdl.handle.net/2099.1/3334>
- Pascual, E. (2020). La clasificación de los plásticos. Recuperado de <https://elblogverde.com/clasificacion-plasticos/>
- Pedraza, E., & Forigua, J. (2014). Diseño de mezclas asfálticas modificadas mediante la adición de desperdicios plásticos. Universidad Católica de Colombia.
- ProActivo. (2018). Impacto ambiental de las botellas de plástico usadas para agua. Recuperado de Impacto ambiental de las botellas de plástico usadas para agua website: <https://proactivo.com.pe/impacto-ambiental-de-las-botellas-de-plastico-usadas-para-agua/#:~:text=En nuestro país se producen,de la ONG Ciudad Saludable.&text=La reducción del consumo de botellas descartables es una de éstas.>
- QuimiNet. (2005). Todo lo que quería saber del PET. Recuperado de <https://www.quiminet.com/>
- QuimiNet. (2010). Usos y aplicaciones del Polietileno Tereftalato (PET). Recuperado de <https://www.quiminet.com/>
- Ramírez, D., Vidal, A., & Grajales, J. (2014). Incorporación de tereftalato de polietileno como agente modificador en el asfalto (Pontificia Universidad Javeriana). Recuperado de <http://vitela.javerianacali.edu.co/handle/11522/3145>
- Silvestre, D. (2017). Comparación técnica y económica entre las mezclas asfálticas tradicionales y reforzadas con plástico reciclado en la ciudad de Lima-2017 (Universidad César Vallejo). Recuperado de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/1506?locale-attribute=es>
- TDM Grupo. (2016). Pavimentación con mezclas asfálticas modificadas con polímeros. Recuperado de <http://www.tdm.com.pe/soluciones-pavimentacion-mezclas-asfalticas-modificadas.php>

Tueros, M. (2017). Incorporación de polvo de caucho en mezcla asfáltica convencional para mejorar el comportamiento de la superficie de rodadura frente al ahuellamiento en la ciudad de Huancayo 2016 (Universidad Peruana Los Andes). Recuperado de <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/UPLA/283#:~:text=La principal conclusión del estudio,y 97%25 los valores de>

Vives, A. (2018). La sorprendente realidad de la contaminación del plástico. Recuperado de Noticias AMAGI, Medio digital independiente especializado en desarrollo humano y sostenibilidad website: <https://noticiasamagi.com/la-sorprendente-realidad-de-la-contaminacion-del-plastico/>

ANEXOS

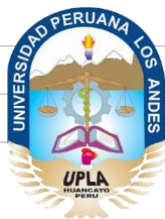
ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Matriz de consistencia

Tesis: “Análisis técnico – económico de mezclas asfálticas con tereftalato de polietileno reciclado para la construcción de carreteras asfaltadas”

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
<p>Problema general: ¿Cuál es el resultado del análisis técnico – económico de mezclas asfálticas con tereftalato de polietileno reciclado para la construcción de carreteras asfaltadas?</p> <p>Problemas específicos: a) ¿De qué manera las escamas de tereftalato de polietileno reciclado inciden en el desempeño estructural de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas? b) ¿Cuál es la influencia de las escamas de tereftalato de polietileno reciclado en la durabilidad de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas? c) ¿En qué medida las escamas de tereftalato de polietileno reciclado varían el costo de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas?</p>	<p>Objetivo general: Analizar técnica y económicamente a las mezclas asfálticas con tereftalato de polietileno reciclado para la construcción de carreteras asfaltadas.</p> <p>Objetivos específicos: a) Determinar de qué manera las escamas de tereftalato de polietileno reciclado inciden en el desempeño estructural de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas. b) Establecer la influencia de las escamas de tereftalato de polietileno reciclado en la durabilidad de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas. c) Determinar en qué medida las escamas de tereftalato de polietileno reciclado varían el costo de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas.</p>	<p>Hipótesis general: Del análisis técnico – económico de mezclas asfálticas con tereftalato de polietileno reciclado, se tiene que éste mejora el desempeño estructural y la durabilidad, además de no variar significativamente el costo para la construcción de carreteras asfaltadas.</p> <p>Hipótesis específicas: a) Las escamas de tereftalato de polietileno reciclado inciden positivamente en el desempeño estructural de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas. b) Las escamas de tereftalato de polietileno reciclado influyen positivamente en la durabilidad de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas. c) Las escamas de tereftalato de polietileno reciclado no varían significativamente el costo de la mezcla asfáltica para la construcción de carreteras asfaltadas.</p>	<p>Variable independiente (X): Tereftalato de polietileno reciclado.</p> <p>Variable dependiente (Y): Mezcla asfáltica.</p>	<p>- Escama de tereftalato de polietileno.</p> <p>- Desempeño estructural.</p> <p>- Durabilidad.</p> <p>- Costo.</p>	<p>- Cantidad de escama de tereftalato de polietileno.</p> <p>- Estabilidad</p> <p>- Flujo</p> <p>- Rigidez</p> <p>- Pérdida por desgaste.</p> <p>- Costo de ejecución.</p>	<p>Método general: Método científico.</p> <p>Tipo de investigación: Aplicada.</p> <p>Nivel: Correlacional.</p> <p>Diseño de investigación: Experimental.</p> <p>Población: Correspondió a la cantidad de cuerpos de prueba para la mezcla asfáltica convencional y mezcla asfáltica modificada con incorporación de escamas de PET reciclado proveniente de botellas de plástico, obteniéndose así cinco grupos de comparación, tal como se muestra en la Tabla 6, haciendo un total de 100 especímenes a evaluar.</p> <p>Muestra: No se utilizó técnica de muestreo, pues la muestra correspondió a la totalidad de la población; es decir los 100 especímenes de mezcla asfáltica.</p>

ANEXO N° 02: FICHAS TÉCNICAS



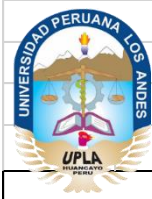
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



FICHA TÉCNICA N° 1

TESIS:	ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS ASFALTADAS
LUGAR:	
FECHA:	
REALIZADO POR:	Bach. Jorge, PUENTE GANZ

Ítem	Mezclas asfálticas con tereftalato de polietileno reciclado			
	Mezcla asfáltica		PET	
	Contenido asfáltico	Gradación	Tamaño de proporción (Filler / Agregado)	Proporción de molienda
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				



FICHA TÉCNICA N° 2

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:	ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS ASFALTADAS
LUGAR:	
FECHA:	
REALIZADO POR:	Bach. Jorge, PUENTE GANZ

Ítem	Desempeño estructural			Durabilidad
	Estabilidad	Flujo	Rigidez	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

ANEXO N° 03: ENSAYOS EN LABORATORIO

ANEXO N° 03.01: Caracterización de agregados

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS

SOLICITA / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO
 PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
 CANTERA N° / UBICACIÓN : PIEDRA CHANCADA Y ARENA ZARANDEADA
 UBICACIÓN DE OBRA : Distrito HUANCAYO
 Provincia HUANCAYO
 Region JUNIN
 TECNICO : J.S.C.V
 FECHA : 01/07/2019

MUESTRA 1				
AGREGADO GRUESO MTC - 206				
N°	IDENTIFICACION	M-1	M-2	PROMEDIO
A	Peso de Material sat. Sup. Seca (en aire)	980	950	
B	Peso de Material sat. Sup. Seca (en agua)	610	590	
C	Vol. Masa /Vol. Vacios = A - B	370	360	
D	Peso de Mat seca en estufa (105° c)	973	943	
E	Vol. masa = C-(A-D)	363	353	
	P. Esp. Bulk (Base seca) = D/C	2.630	2.619	
	P. Esp. Bulk (Base saturado) = A/C	2.649	2.639	
	P. Esp. Aparente (Base seca) = D/E	2.680	2.671	
	% de Absorción = ((A-D) / D) x 100	0.719	0.742	0.731
	Peso Especifico Adoptado			2.644

AGREGADO FINO MTC - 205				
N°	IDENTIFICACION	M1	M-2	PROMEDIO
A	Peso de Mat. Sat. Sup. Seca (en aire)	250	250	
B	Peso del frasco + H2O	206.2	205.6	
C	Peso del frasco + H2O + Arena = A+B	456.2	455.6	
D	Peso del mat. + H2O en el frasco	358	359	
E	Vol. de masa + Vol. de vacíos = C-D	98.2	96.6	
F	Peso del material seco en estufa (105° c)	246.8	246.5	
G	Volumen de masa = E-(A-F)	95	93.1	
	P. Esp. Bulk (Base seca) = F/E	2.513	2.552	
	P. Esp. Bulk (Base saturada) = A/E	2.546	2.588	
	P. Esp. Aparente (Base seca) = F/G	2.598	2.648	
	% de Absorción = ((A-F) / F) x 100	1.297	1.420	1.358
	Peso Especifico Adoptado			2.567

LABORATORIO DE MECANICA
DE SUELOS Y PAVIMENTOS

 JAVIER L. SANTA CRUZ VELIZ
 TECNICO EN GEOTECNIA


 José Manuel Pereyra Araujo
 INGENIERO CIVIL
 REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16800

**Resistencia al desgaste por Abrasion-Maquina de los Angeles
(DEE A6 -1983**

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

SOLICITA : BACH. PUENTE GANZ JORGE
OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
MATERIAL : PIEDRA CHANCADA 3 DE DICIEMBRE
UBICACIÓN : Distrito HUANCAYO **REALIZADO:** J.S.C.V
 Provincia HUANCAYO **FECHA:** 01/07/2019
 Region JUNIN

CANTERA 3 DE DICIEMBRE					
IDENTIFICACION					
Pozo N°	1				
Profundidad	-				
Graduación	A				
Peso Inicial	5005				
Peso Mat. Ref. Malla N° 12 gr.	3595				
Peso Mat. Pasa Malla N° 12 gr.	1410				
Porcentaje Desgaste (%)	28.17				

PORCENTAJE DE DESGASTE: 28.17%

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 JAVIER... VELIZ
 TÈC. ESP. EN GEOTECNIA

José Manuel Pereyra Araujo
 INGENIERO CIVIL
 REG. COLEGIO INGENIEROS N° 16800

ENSAYO DE DURABILIDAD

MTC E 209 EM 2000

PROYECTO / OBRA : BACH. PUENTE GANZ JORGE

SOLICITA / PETICIONARIO : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO

SECTOR : PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS

CANTERA N° / UBICACIÓN : 3 DE DICIEMBRE- CHUPACA - JUNIN

UBICACIÓN DE OBRA : Distrito HUANCAYO

Provincia HUANCAYO

Region JUNIN

TECNICO : J.Santa Cruz V.

FECHA : 01/07/2019

TAMAÑO DE PARTICULA	GRANULOMETRIA ORIGINAL	PESO DE LA FRACCION ENSAYADA		% PERDIDA TOTAL	PERDIDA MEDIA
		ANTES	DESPUES		
3/4"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	33.96	712.00	685.00	3.79	1.29
3/8"	29.33	615.00	589.00	4.23	1.24
PIEDRA CHANCADA	35.44	743.00	710.00	4.44	1.57
	1.27	26.60	26.00	2.26	0.03
TOTAL	100.00	2096.60			4.13

TAMAÑO DE PARTICULA	GRANULOMETRIA ORIGINAL	PESO DE LA FRACCION ENSAYADA		% PERDIDA TOTAL	PERDIDA MEDIA
		ANTES	DESPUES		
N°8	21.11	233.00	215.00	7.73	1.63
N°16	17.93	198.00	185.00	6.57	1.18
N°30	19.02	210.00	192.00	8.57	1.63
N°50	16.12	178.00	165.00	7.30	1.18
AGREGADO FINO	25.82	285.00	265.00	7.02	1.81
TOTAL	100.00	1104.00			7.43

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
JAVIER J. SANTA CRUZ VELIZ
TEC. ESP EN GEOTECNIA



José Manuel Pereyra Araujo
INGENIERO CIVIL
REG. COLEGIO D INGENIEROS N° 16900

EQUIVALENTE DE ARENA

MTC E - 114 - 2000

SOLICITA / PETICIONARIO: BACH. PUENTE GANZ JORGE
PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
CANtera / UBICACION : ARENA GRUESA ZARANDEDA Y CHANGADA (CANtera 3 DE DICIEMBRE)
MUESTRA : M-01
UBICACION DE OBRA : Distrito : HUANCAYO
 Provincia : HUANCAYO
 Departamento : JUNIN
TECNICO : J.S.C.V
FECHA : JULIO DEL 2019

No	DESCRIPCION	CANtera 3 DE DICIEMBRE		
		1	2	3
	TAMAÑO MAXIMO	Malla N° 4	Malla N° 4	Malla N° 4
A	HORA ENTRADA A SATURACION	13.50	13.55	13.57
2	SALIDA DE SATURACION	14.00	14.05	14.07
B	HORA ENTRADA A DECANTACION	14.00	14.05	14.07
4	SALIDA CANTACION	14.20	14.25	14.27
5	ALTURA MATERIAL FINO (pulg)	5.05	5.05	5.00
6	ALTURA ARENA (pulg.)	3.50	3.55	3.55
7	EQUIV. ARENA	69.31	70.30	71.00
PROMEDIO DE EQUIV. ARENA (%)		70.20		

El % total del equivalente de arena es de **70.20**

LABORATORIO DE MECANICA
DE SUELOS Y FUNDAMENTOS
JAVIER L. SANTA CRUZ VELIZ
TEC. ESP. EN GEOTECNIA



José Manuel Pereyra Araujo
INGENIERO CIVIL
REG. COLEGIO D INGENIEROS N° 16800

**Ensayo de Adherencia de Mezcla Agregado – Bitumen
AASHTO-182(02)**

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

SOLICITA : BACH. PUENTE GANZ JORGE

OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO

TRAMO : PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS

MATERIAL : PIEDRA CHANCADA 3 DE DICIEMBRE

UBICACIÓN : *Dist.* HUANCAYO *TECNICO*
Prov. HUANCAYO *FECHA* : J. SANTA CRUZ V.
Region JUNIN 01/07/2019

AGREGADO	TIPO DE LIGANTE	REVESTIMIENTO (%)	ADHERENCIA (%)
PIEDRA CHANCADA TAMAÑO MÁXIMO: 1/2"	ASFALTO LIQUIDO PEN 85/100	100	+95

LABORATORIO DE MECANICA
DE SUELOS Y PAVIMENTOS

JAVIER S. VELIZ
TEC. ESP. EN GEOTECNIA

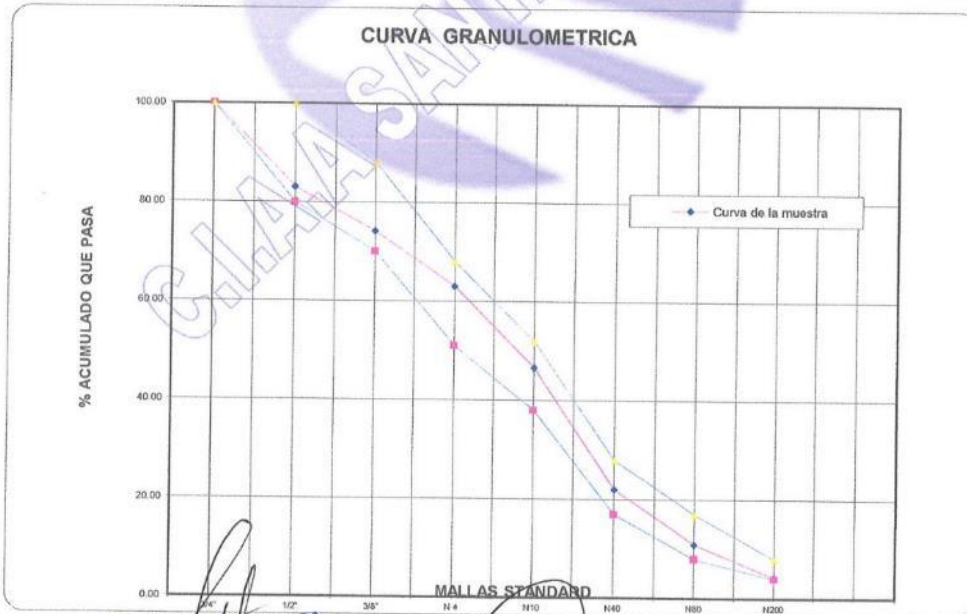


José María Pereyra Araujo
INGENIERO CIVIL
REG. COLEGIO D INGENIEROS N° 16900

**ANEXO N° 03.02: Diseño de mezcla asfáltica convencional en
caliente según el método Marshall**

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO
TRAMO : PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
UBICACIÓN / DE OBRA : *Dist.* HUANCAYO
Prov. HUANCAYO **TECNICO :** J. Santa Cruz Veliz
Dpto. JUNIN **FECHA :** 01/07/2019
DOSIFICACION AGREGADOS : PIEDRA CHANCADA 3/4" - CEM. ASFALTICO : PEN - 85 /100
 ARENA CHANCADA Y ZARANDEADA 1/4" -
 FILLER (CAL HIDRATADA)

Nº MALLA	GRAVA CHANCADA 37	ARENA ch 63	TOTAL 100	ESPECIFICACIONES MAC 2	
				LIM INF	LIM SUP
3/4"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	54.24	100.00	83.07	80.00	100.00
3/8"	30.16	100.00	74.16	70.00	88.00
N 4	0.00	100.00	63.00	51.00	68.00
N10	0.00	73.96	46.60	38.00	52.00
N40	0.00	35.05	22.08	17.00	28.00
N80	0.00	17.37	10.95	8.00	17.00
N200	0.00	6.80	4.29	4.00	8.00



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 JAVIER I. SANTA CRUZ VELIZ
 ING. ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

INGENIERO CIVIL
 REG. COLEGIO DE INGENIEROS Nº 16900
 J. Santa Cruz Veliz

Av oriente Nº 772-Concepcion Telef.-581405 - Cel. Mov. 975151126 - *413854 - 964512425 - *165302 - 954431184 - claro 964328911
 Email CIAA_SANTACRUZ@hotmail.com

ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO EN LA MUESTRA

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
 UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN
 TECNICO : J SANTA CRUZ VELIZ
 FECHA : 01/07/2019

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfaltico en peso de la mezcla	5.00	5.00	5.00		5.00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	35.15	35.15	35.15		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	59.85	59.85	59.85		
4	% de agregado filler en peso de la mezcla					
5	Peso especifico del cemento asfaltico - aparente	1.018	1.018	1.018		
6	Peso especifico agregado grueso - bulk	2.674	2.674	2.674		
7	Peso especifico agregado fino - bulk	2.554	2.554	2.554		
8	Peso especifico filler - aparente					
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1184.20	1184.80	1185.60		1,185
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	640.00	642.00	643.50		642
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	544.20	542.80	542.10		
12	Peso especifico bulk de la briqueta	2.176	2.183	2.187		2.182
13	Peso especifico maximo ASTM D-2041	2.430	2.430	2.430		
14	% de vacios	10.5	10.2	10.0		10.2
15	Peso especifico bulk del agregado total	2.597	2.597	2.597		
16	VMA	20.41	20.17	20.01		20.2
17	% de vacios llenados con C.A.	48.80	49.54	50.03		49.5
18	Peso especifico del agregado total	2.621	2.621	2.621		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0.36	0.36	0.36		
20	% de asfalto efectivo	4.66	4.66	4.66		
21	Flujo (mm)	2.79	3.05	2.79		2.9
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					250.3
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	1081	1100	1085		
24	Factor de estabilidad	1.04	1.04	1.04		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	1124	1144	1128		1132
26	Indice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	4024	3753	4039		3939

OBSERVACIONES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

JAVIER J. SANTA CRUZ
 REC. ESP. EN GEOTECNIA



José Manuel Pereyra Araujo
 INGENIERO CIVIL
 REG. COLEGIO D INGENIEROS N° 16800

ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
 UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN
 TECNICO : J SANTA CRUZ VELIZ
 FECHA : 01/07/2019

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfáltico en peso de la mezcla	5.50	5.50	5.50		5.50
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34.97	34.97	34.97		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	59.54	59.54	59.54		
4	% de agregado filler en peso de la mezcla					
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1.018	1.018	1.018		
6	Peso específico agregado grueso - bulk	2.674	2.674	2.674		
7	Peso específico agregado fino - bulk	2.554	2.554	2.554		
8	Peso específico filler - aparente					
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1171.60	1180.20	1181.80		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	651.00	653.00	655.00		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	520.60	527.20	526.80		
12	Peso específico bulk de la briqueta	2.250	2.239	2.243		2.244
13	Peso específico máximo ASTM D-2041	2.410	2.410	2.410		
14	% de vacíos	6.6	7.1	6.9		6.9
15	Peso específico bulk del agregado total	2.597	2.597	2.597		
16	VMA	18.12	18.55	18.38		18.4
17	% de vacíos llenados con C.A.	63.47	61.67	62.38		62.5
18	Peso específico del agregado total	2.618	2.618	2.618		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0.31	0.31	0.31		
20	% de asfalto efectivo	5.20	5.20	5.20		
21	Flujo (mm)	3.05	3.05	3.05		3.1
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					226.0
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	950	885	925		
24	Factor de estabilidad	1.04	1.01	1.01		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	988	897	934		940
26	Índice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	3239	2939	3063		3081

OBSERVACIONES

LABORATORIO DE MECANICA
DE SUELOS Y PAVIMENTOS



José Manuel Pérez Araujo
INGENIERO CIVIL
REG. COLEGIO D INGENIEROS N° 16800

JAVIER SANTA CRUZ VELIZ
Av oriente N° 175 - con av. 28 de Julio - 081405 - Cel. Mov. 975151126 - *413854 - 964512425 - *165302 - 954431184 - claro 964328911
Email CIAA_SANTACRUZ@hotmail.com

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
 UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN
 TECNICO : J SANTA CRUZ VELIZ
 FECHA : 01/07/2019

ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfáltico en peso de la mezcla	6.00	6.00	6.00		6.00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34.78	34.78	34.78		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	59.22	59.22	59.22		
4	% de agregado filler en peso de la mezcla	0.00	0.00	0.00		
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1.017	1.017	1.017		
6	Peso específico agregado grueso - bulk	2.674	2.674	2.674		
7	Peso específico agregado fino - bulk	2.554	2.554	2.554		
8	Peso específico filler - aparente					
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1188.20	1180.80	1184.80		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	675.00	673.60	672.50		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	513.20	507.20	512.30		
12	Peso específico bulk de la briqueta	2.315	2.328	2.313		2.319
13	Peso específico máximo ASTM D-2041	2.380	2.380	2.380		
14	% de vacíos	2.7	2.2	2.8		2.6
15	Peso específico bulk del agregado total	2.597	2.597	2.597		
16	VMA	16.21	15.75	16.30		16.1
17	% de vacíos llenados con C.A.	83.22	86.14	82.66		84.0
18	Peso específico del agregado total	2.603	2.603	2.603		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0.08	0.08	0.08		
20	% de asfalto efectivo	5.93	5.93	5.93		
21	Flujo (mm)	3.30	3.30	3.30		3.3
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	920	885	888		
24	Factor de estabilidad	1.04	1.07	1.04		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	957	948	924		943
26	Índice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	2899	2872	2799		2857

OBSERVACIONES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 JAVIER SANTA CRUZ VELIZ
 ING. CIVIL EN GEOTECNIA

José Manuel Pavez Araujo
 ING. CIVIL
 REG. COLEGIO D INGENIEROS N° 16800

**ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO**

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
 UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN
 TECNICO : J SANTA CRUZ VELIZ
 FECHA : 01/07/2019

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfaltico en peso de la mezcla	6.50	6.50	6.50		6.50
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34.60	34.60	34.60		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	58.91	58.91	58.91		
4	% de agregado filler en peso de la mezcla	0.00	0.00	0.00		
5	Peso especifico del cemento asfaltico - aparente	1.017	1.017	1.017		
6	Peso especifico agregado grueso - bulk	2.674	2.674	2.674		
7	Peso especifico agregado fino - bulk	2.554	2.554	2.554		
8	Peso especifico filler - aparente					
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1181.40	1187.20	1179.40		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	668.90	672.30	672.30		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	512.50	514.90	507.10		
12	Peso especifico bulk de la briqueta	2.305	2.306	2.326		2.312
13	Peso especifico maximo ASTM D-2041	2.350	2.350	2.350		
14	% de vacios	1.9	1.9	1.0		1.6
15	Peso especifico bulk del agregado total	2.597	2.597	2.597		
16	VMA	17.02	17.00	16.28		16.8
17	% de vacios llenados con C.A.	88.79	88.91	93.67		90.5
18	Peso especifico del agregado total	2.586	2.586	2.586		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	-0.18	-0.18	-0.18		
20	% de asfalto efectivo	6.67	6.67	6.67		
21	Flujo (mm)	3.56	3.56	3.56		3.6
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	750	800	850		
24	Factor de estabilidad	1.10	1.04	1.04		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	827	832	884		848
26	Indice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	2326	2340	2486		2384

OBSERVACIONES

LABORATORIO DE MECANICA
DE SUELOS Y PAVIMENTOS



José Manuel Pereyra Araujo
INGENIERO CIVIL
REG. COLEGIU INGENIEROS N° 10800

JAVIER J. SANTA CRUZ VELIZ
TEC. ESP. EN GEOTECNIA

Av oriente N° 772-Concepcion Telef.-581405 - Cel. Mov. 975151126 - *413854 - 964512425 - *165302 - 954431184 - claro 964328911

Email CIAA_SANTACRUZ@hotmail.com

ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
 UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN
 TECNICO : J SANTA CRUZ VELIZ
 FECHA : 01/07/2019

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfáltico en peso de la mezcla	7.00	7.00	7.00		7.00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34.41	34.41	34.41		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	58.59	58.59	58.59		
4	% de agregado filler en peso de la mezcla	2.21	2.21	2.21		
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1.017	1.017	1.017		
6	Peso específico agregado grueso - bulk	2.674	2.674	2.674		
7	Peso específico agregado fino - bulk	2.554	2.554	2.554		
8	Peso específico filler - aparente					
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1179.00	1176.80	1182.40		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	680.50	658.90	665.00		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	518.50	517.90	517.40		
12	Peso específico bulk de la briqueta	2.274	2.272	2.285		2.277
13	Peso específico máximo ASTM D-2041	2.310	2.310	2.310		
14	% de vacíos	1.6	1.6	1.1		1.4
15	Peso específico bulk del agregado total	2.597	2.597	2.597		
16	VMA	16.65	16.71	16.23		16.5
17	% de vacíos llenados con C.A.	90.60	90.22	93.40		91.4
18	Peso específico del agregado total	2.615	2.615	2.615		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0.27	0.27	0.27		
20	% de asfalto efectivo	6.75	6.75	6.75		
21	Flujo (mm)	4.06	4.06	4.06		4.1
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	650	750	825		
24	Factor de estabilidad	1.10	1.07	1.07		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	717	803	884		801
26	Índice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	1764	1977	2174		1972

OBSERVACIONES

LABORATORIO DE MECANICA
DE SUELOS Y PAVIMENTOS



José María Pereyra Araujo
INGENIERO CIVIL
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16800

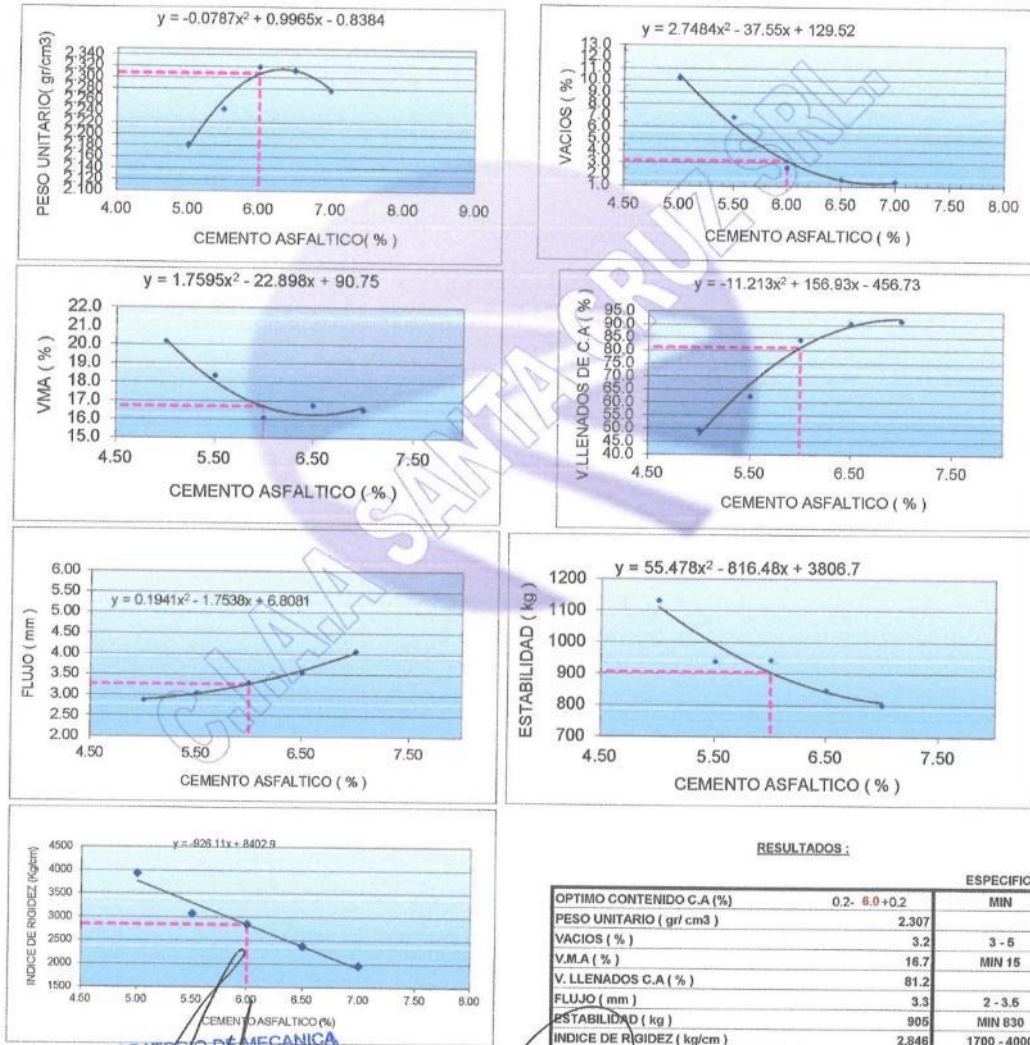
ELABORACION DE PROYECTOS - EJECUCION DE OBRAS - CONTROL DE CALIDAD EN MECANICA DE SUELOS
ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559) CAPA DE RODADURA

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS

UBICACION / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN

DOSIFICACION AGREGADOS : PIEDRA CHANCADA 3/4" -
 ARENA CHANCADA

TECNICO : J. SANTA CRUZ V.
FECHA : 01/07/2019
 37% 3 DE DICIEMBRE
 63% 3 DE DICIEMBRE CEM ASFALTICO : PEN - 85/100



RESULTADOS :

	ESPECIFIC.
OPTIMO CONTENIDO C.A (%)	0.2- 6.0+0.2
PESO UNITARIO (gr/ cm ³)	2.307
VACIOS (%)	3.2
V.M.A (%)	16.7
V. LLENADOS C.A (%)	81.2
FLUJO (mm)	3.3
ESTABILIDAD (kg)	905
INDICE DE RIGIDEZ (kg/cm)	2,846
	MIN
	3 - 5
	MIN 15
	2 - 3.5
	MIN 830
	1700 - 4000

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 JAVIER P. SANTA CRUZ VELIZ
 TEC. ESP EN GEOTECNIA

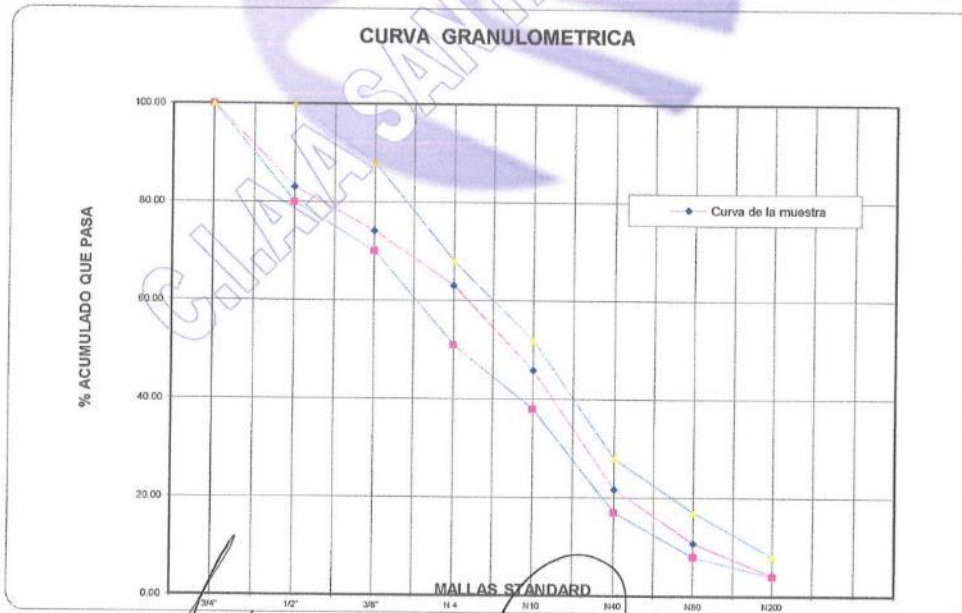


Ing. J. Santa Cruz Veliz
 REG. COLEGIO D INGENIEROS N° 16800

**ANEXO N° 03.03: Diseño de mezcla asfáltica en caliente con 1
% de PET según el método Marshall**

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO
TRAMO : PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
UBICACIÓN / DE OBRA : *Dist.* HUANCAYO
Prov. HUANCAYO **TECNICO :** J. Santa Cruz Veliz
Dpto. JUNIN **FECHA :** 01/07/2019
DOSIFICACION AGREGADOS PIEDRA CHANCADA 3/4"-
 ARENA CHANCADA 1/4"-
 PET N°4 **CEM. ASFALTICO :** PEN - 85/100

N° MALLA	GRAVA CHANCADA 37	PET 1	ARENA ch 62	TOTAL 100	ESPECIFICACIONES MAC 2	
					LIM INF	LIM SUP
3/4"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	54.24	100.00	100.00	83.07	80.00	100.00
3/8"	30.16	100.00	100.00	74.16	70.00	88.00
N 4	0.00	100.00	100.00	63.00	51.00	68.00
N10	0.00	6.40	73.96	45.92	38.00	52.00
N40	0.00	0.05	35.05	21.73	17.00	28.00
N80	0.00	0.00	17.37	10.77	8.00	17.00
N200	0.00	0.00	6.80	4.22	4.00	8.00



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 JAVIER SANTA CRUZ VELIZ
 REC. ESP. EN GEOTECNIA


 José Manuel Percyra Araujo
 INGENIERO CIVIL
 REG. COLEGIO D INGENIEROS N° 16800

**ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO EN LA MUESTRA**

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO
 PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
 UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN
 TECNICO : J SANTA CRUZ VELIZ
 FECHA : 01/07/2019
 PET AL 1%

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfáltico en peso de la mezcla	5.00	5.00	5.00		5.00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	35.15	35.15	35.15		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	58.90	58.90	58.90		
4	% de agregado caucho en peso de la mezcla	0.95	0.95	0.95		
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1.018	1.018	1.018		
6	Peso específico agregado grueso - bulk	2.674	2.674	2.674		
7	Peso específico agregado fino - bulk	2.554	2.554	2.554		
8	Peso específico PET - aparente	1.340	1.340	1.340		
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1180.60	1182.20	1180.20		1,181
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	642.00	643.00	640.00		642
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	538.60	539.20	540.20		
12	Peso específico bulk de la briqueta	2.192	2.193	2.185		2.190
13	Peso específico máximo ASTM D-2041	2.430	2.430	2.430		
14	% de vacíos	9.8	9.8	10.1		9.9
15	Peso específico bulk del agregado total	2.598	2.598	2.598		
16	VMA	19.84	19.82	20.11		19.9
17	% de vacíos llenados con C.A.	50.63	50.69	49.80		50.4
18	Peso específico del agregado total	2.621	2.621	2.621		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0.35	0.35	0.35		
20	% de asfalto efectivo	4.67	4.67	4.67		
21	Flujo (mm)	3.05	3.05	3.04		3.0
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					250.3
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	1053	1005	980		
24	Factor de estabilidad	1.04	1.04	1.04		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	1095	1045	1019		1053
26	Índice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	3591	3427	3353		3457

OBSERVACIONES

LABORATORIO DE MECANICA
DE SUELOS Y PAVIMENTOS
J. SANTA CRUZ VELIZ
ESP EN GEOTECNIA



Jose Manuel Pesquera Araujo
INGENIERO CIVIL
REG. COLEGIO D INGENIEROS N° 16800

**ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1659)
PORCENTAJES DE ASFALTO**

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO
 PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
 UBICACION / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN
 TECNICO : J SANTA CRUZ VELIZ
 FECHA : 01/07/2019
 PET AL 1%

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfaltico en peso de la mezcla	5.50	5.50	5.50		5.50
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34.97	34.97	34.97		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	58.59	58.59	58.59		
4	% de agregado caucho en peso de la mezcla	0.95	0.95	0.95		
5	Peso especifico del cemento asfaltico - aparente	1.018	1.018	1.018		
6	Peso especifico agregado grueso - bulk	2.674	2.674	2.674		
7	Peso especifico agregado fino - bulk	2.554	2.554	2.554		
8	Peso especifico PET - aparente	1.340	1.340	1.340		
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1170.40	1193.80	1181.80		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	648.00	658.00	655.00		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	522.40	535.80	526.80		
12	Peso especifico bulk de la briqueta	2.240	2.228	2.243		2.237
13	Peso especifico maximo ASTM D-2041	2.410	2.410	2.410		
14	% de vacios	7.0	7.5	6.9		7.2
15	Peso especifico bulk del agregado total	2.598	2.598	2.598		
16	VMA	18.50	18.95	18.39		18.6
17	% de vacios llenados con C.A.	61.97	60.16	62.41		61.5
18	Peso especifico del agregado total	2.618	2.618	2.618		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0.31	0.31	0.31		
20	% de asfalto efectivo	5.21	5.21	5.21		
21	Flujo (mm)	3.30	3.30	3.30		3.3
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					226.0
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	985	950	1050		
24	Factor de estabilidad	0.99	0.99	0.99		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	973	939	1037		983
26	Indice de rigidez: (10 ³ 25/21) (kg/cm.)	2949	2844	3144		2979

OBSERVACIONES

LABORATORIO DE MECANICA
DE SUELOS Y PAVIMENTOS



Jose Manuel Rereyra Araujo
INGENIERO EN GEOTECNIA
REG. COLEGIO INGENIEROS N° 10800

JAVIER SANTA CRUZ VELLIZ
INGENIERO EN GEOTECNIA
REC. ESP EN GEOTECNIA

Av oriente N° 772-Concepcion Telef.-581405 - Cel. Mov. 975151126 - *413854 - 964512425 - *165302 - 954431184 - claro 964328911

Email CIAA_SANTACRUZ@hotmail.com

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
 UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN PET AL 1%
 TECNICO : J SANTA CRUZ VELIZ
 FECHA : 01/07/2019

ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfáltico en peso de la mezcla	6.00	6.00	6.00		6.00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34.78	34.78	34.78		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	58.28	58.28	58.28		
4	% de agregado caucho en peso de la mezcla	0.94	0.94	0.94		
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1.017	1.017	1.017		
6	Peso específico agregado grueso - bulk	2.674	2.674	2.674		
7	Peso específico agregado fino - bulk	2.554	2.554	2.554		
8	Peso específico PET - aparente	1.340	1.340	1.340		
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1190.60	1183.60	1182.00		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	665.00	671.00	666.00		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	525.60	512.60	516.00		
12	Peso específico bulk de la briqueta	2.265	2.309	2.291		2.288
13	Peso específico máximo ASTM D-2041	2.390	2.390	2.390		
14	% de vacíos	5.2	3.4	4.2		4.3
15	Peso específico bulk del agregado total	2.598	2.598	2.598		
16	VMA	18.04	16.45	17.11		17.2
17	% de vacíos llenados con C.A.	71.05	79.40	75.72		75.4
18	Peso específico del agregado total	2.615	2.615	2.615		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0.26	0.26	0.26		
20	% de asfalto efectivo	5.75	5.75	5.75		
21	Flujo (mm)	3.56	3.30	3.30		3.4
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	972	850	920		
24	Factor de estabilidad	1.01	1.01	1.01		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	985	861	932		926
26	Índice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	2769	2609	2824		2734

OBSERVACIONES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 JAVIER I. SANTA CRUZ
 TECNICO ESPECIALISTA EN GEOTECNIA


 José Manuel Pérez Araujo
 INGENIERO CIVIL
 REG. COLECCION D INGENIEROS N° 16800

ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO
 PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
 UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN
 TECNICO : J SANTA CRUZ VELIZ
 FECHA : 01/07/2019
 PET AL 1%

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfáltico en peso de la mezcla	6.50	6.50	6.50		6.50
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34.60	34.80	34.60		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	57.97	57.97	57.97		
4	% de agregado caucho en peso de la mezcla	0.94	0.94	0.94		
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1.017	1.017	1.017		
6	Peso específico agregado grueso - bulk	2.674	2.674	2.674		
7	Peso específico agregado fino - bulk	2.554	2.554	2.554		
8	Peso específico PET - aparente	1.340	1.340	1.340		
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1180.80	1174.80	1183.60		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	660.10	685.60	660.00		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	520.70	509.20	523.60		
12	Peso específico bulk de la briqueta	2.268	2.307	2.261		2.278
13	Peso específico máximo ASTM D-2041	2.370	2.370	2.370		
14	% de vacíos	4.3	2.7	4.6		3.9
15	Peso específico bulk del agregado total	2.598	2.598	2.598		
16	VMA	18.38	16.96	18.64		18.0
17	% de vacíos llenados con C.A.	76.52	84.37	75.22		78.7
18	Peso específico del agregado total	2.612	2.612	2.612		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0.21	0.21	0.21		
20	% de asfalto efectivo	6.31	6.31	6.31		
21	Flujo (mm)	3.81	3.81	3.81		3.8
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	885	950	875		
24	Factor de estabilidad	1.04	1.04	1.04		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	920	988	910		939
26	Índice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	2416	2593	2388		2466

OBSERVACIONES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

JAVIER J. SANTA CRUZ
 TCO ESP EN GEOTECNIA



José Manuel Pereyra Araujo
 ING. CIVIL
 REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16800

Av oriente N° 172 - Concepcion Telef. -581405 - Cel. Mov. 975151126 - *413854 - 964512425 - *165302 - 954431184 - claro 964328911

Email CIAA_SANTACRUZ@hotmail.com

**ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO**

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
 UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN
 TECNICO : J SANTA CRUZ VELIZ
 FECHA : 01/07/2019
 PET AL 1%

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfáltico en peso de la mezcla	7.00	7.00	7.00		7.00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34.41	34.41	34.41		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	57.66	57.66	57.66		
4	% de agregado caucho en peso de la mezcla	0.93	0.93	0.93		
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1.017	1.017	1.017		
6	Peso específico agregado grueso - bulk	2.674	2.674	2.674		
7	Peso específico agregado fino - bulk	2.554	2.554	2.554		
8	Peso específico PET - aparente	1.340	1.340	1.340		
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1187.60	1185.00	1183.00		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	660.00	658.00	655.00		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	527.60	527.60	528.00		
12	Peso específico bulk de la briqueta	2.251	2.247	2.241		2.246
13	Peso específico máximo ASTM D-2041	2.350	2.350	2.350		
14	% de vacíos	4.2	4.4	4.7		4.4
15	Peso específico bulk del agregado total	2.598	2.598	2.598		
16	VMA	19.42	19.55	19.79		19.6
17	% de vacíos llenados con C.A.	78.29	77.62	76.46		77.5
18	Peso específico del agregado total	2.607	2.607	2.607		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0.14	0.14	0.14		
20	% de asfalto efectivo	6.87	6.87	6.87		
21	Flujo (mm)	4.64	4.32	4.06		4.3
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	763	815	780		
24	Factor de estabilidad	1.04	1.04	1.04		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	794	848	811		817
26	Índice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	1710	1963	1996		1890

OBSERVACIONES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

Logo of Colegio de Ingenieros and signature of José Manuel Pereyra Araujo, REG. COLEGIO INGENIEROS N° 18900

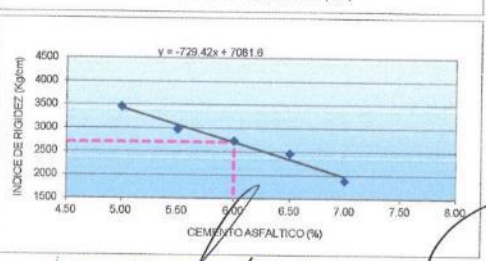
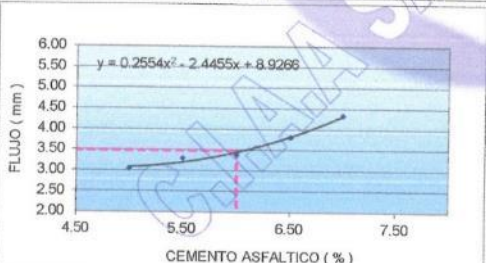
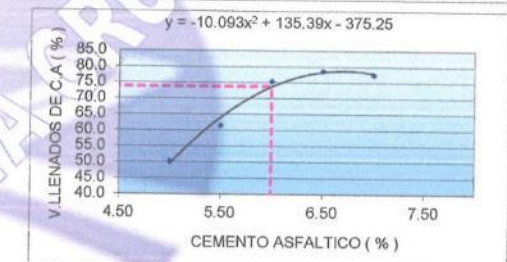
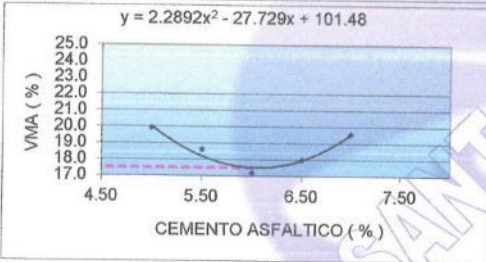
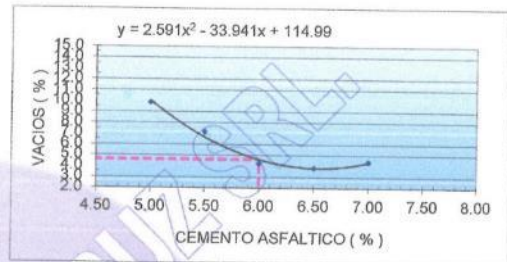
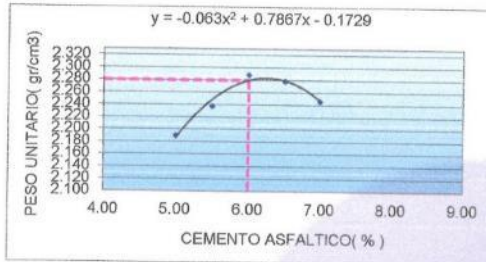
Av. Oriente N° 770 - Gonzales Tor, Tarma - 511205 - Cel. Mov. 975151126 - *413854 - 964512425 - *165302 - 954431184 - claro 964328911
 Email CIAA_SANTACRUZ@hotmail.com

ELABORACION DE PROYECTOS - EJECUCION DE OBRAS - CONTROL DE CALIDAD EN MECANICA DE SUELOS
ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559) CAPA DE RODADURA

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS

UBICACION / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN
 DOSIFICACION AGREGADOS : PIEDRA CHANCADA 34%
 ARENA CHANCADA
 PET

TECNICO : J. SANTA CRUZ V.
 FECHA : 01/07/2019
 37% 3 DE DICIEMBRE
 62% 3 DE DICIEMBRE
 1%
 CEM. ASFALTICO : PEN - 85/100



RESULTADOS :

	0.2- 6.0 +0.2	ESPECIFIC.
OPTIMO CONTENIDO C.A (%)	6.0	MIN
PESO UNITARIO (gr/cm ³)	2.279	
VACIOS (%)	4.8	3 - 5
V.M.A (%)	17.5	MIN 15
V. LLENADOS C.A (%)	73.7	
FLUJO (mm)	3.6	2 - 3.5
ESTABILIDAD (kg)	849	MIN 830
INDICE DE RIGIDEZ (kg/cm)	2,705	1700 - 4000

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS / PAVIMENTOS

JAVIER SANTA CRUZ VELIZ
 TEC. ESP EN GEOTECNIA



Ingeniero Manuel Pareyra Araujo
 CIVIL
 REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16800

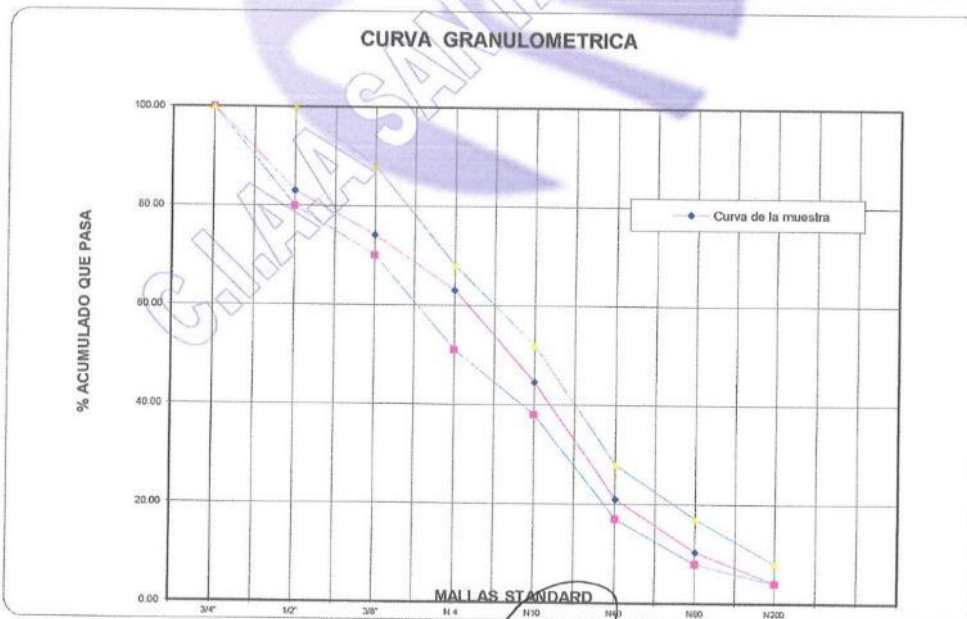
Av oriente N° 772-Concepcion Telef.-581405 - Cel. Mov. 975151126 - *413854 - 964512425 - *165302 - 954431184 - claro 964328911

Email CIAA_SANTACRUZ@hotmail.com

**ANEXO N° 03.04: Diseño de mezcla asfáltica en caliente con 3
% de PET según el método Marshall**

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO
TRAMO : PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
UBICACIÓN / DE OBRA : *Dist.* HUANCAYO
Prov. HUANCAYO
Dpto. JUNIN
TECNICO : J. Santa Cruz Veliz
FECHA : 01/07/2019
DOSIFICACION AGREGADOS : PIEDRA CHANCADA 3/4" -
 ARENA CHANCADA 1/4" -
 PET N°4
CEM. ASFALTICO : PEN - 85/100

Nº MALLA	GRAVA CHANCADA 37	PET 3	ARENA ch 60	TOTAL 100	ESPECIFICACIONES MAC 2	
					LIM INF	LIM SUP
3/4"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	54.24	100.00	100.00	83.07	80.00	100.00
3/8"	30.16	100.00	100.00	74.16	70.00	88.00
N 4	0.00	100.00	100.00	63.00	51.00	68.00
N10	0.00	6.40	73.96	44.57	38.00	52.00
N40	0.00	0.05	35.05	21.03	17.00	28.00
N80	0.00	0.00	17.37	10.42	8.00	17.00
N200	0.00	0.00	6.80	4.08	4.00	8.00



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

JAVIER SANTA CRUZ VELIZ
 TECNICO EN GEOTECNIA



José Manuel Encyrra Araujo
 REG. COLEGIO D INGENIEROS N° 16800

Av oriente N° 772-Concepcion Telef.-581405 - Cel. Mov. 975151126 - *413854 - 964512425 - *165302 - 954431184 - claro 964328911

Email CIAA_SANTACRUZ@hotmail.com

**ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO EN LA MUESTRA**

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECIKLADO
 PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
 UBICACION / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN
 TECNICO : J SANTA CRUZ VELIZ
 FECHA : 01/07/2019

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfáltico en peso de la mezcla	5.00	5.00	5.00		5.00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	35.15	35.15	35.15		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	58.90	58.90	58.90		
4	% de agregado caucho en peso de la mezcla	0.95	0.95	0.95		
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1.018	1.018	1.018		
6	Peso específico agregado grueso - bulk	2.674	2.674	2.674		
7	Peso específico agregado fino - bulk	2.554	2.554	2.554		
8	Peso específico PET - aparente	1.340	1.340	1.340		
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1181.60	1184.20	1180.60		1,182
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	610.00	605.00	612.00		609
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	571.60	579.20	568.60		
12	Peso específico bulk de la briqueta	2.067	2.045	2.076		2.063
13	Peso específico máximo ASTM D-2041	2.430	2.430	2.430		
14	% de vacíos	14.9	15.9	14.6		15.1
15	Peso específico bulk del agregado total	2.598	2.598	2.598		
16	VMA	24.41	25.23	24.07		24.6
17	% de vacíos llenados con C.A.	38.82	37.14	39.53		38.5
18	Peso específico del agregado total	2.621	2.621	2.621		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0.35	0.35	0.35		
20	% de asfalto efectivo	4.67	4.67	4.67		
21	Flujo (mm)	3.81	3.81	3.81		3.8
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					250.3
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	680	663	650		
24	Factor de estabilidad	1.04	1.04	1.04		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	707	690	676		691
26	Índice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	1856	1810	1774		1813

OBSERVACIONES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 JAVIER V SANTA CRUZ VELIZ
 TEC. ESP EN GEOTECNIA

José Manuel Pereyra Araujo
 INGENIERO CIVIL
 REG. COLEGIO INGENIEROS N° 16800

ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO- ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO
 PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
 UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN
 TECNICO : J SANTA CRUZ VELIZ
 FECHA : 01/07/2019

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfaltico en peso de la mezcla	5.50	5.50	5.50		5.50
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34.97	34.97	34.97		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	58.59	58.59	58.59		
4	% de agregado caucho en peso de la mezcla	0.95	0.95	0.95		
5	Peso especifico del cemento asfaltico - aparente	1.018	1.018	1.018		
6	Peso especifico agregado grueso - bulk	2.674	2.674	2.674		
7	Peso especifico agregado fino - bulk	2.554	2.554	2.554		
8	Peso especifico PET - aparente	1.340	1.340	1.340		
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1185.20	1183.00	1181.20		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	616.00	625.00	618.00		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	569.20	558.00	563.20		
12	Peso especifico bulk de la briqueta	2.082	2.120	2.097		2.100
13	Peso especifico maximo ASTM D-2041	2.410	2.410	2.410		
14	% de vacios	13.6	12.0	13.0		12.9
15	Peso especifico bulk del agregado total	2.598	2.598	2.598		
16	VMA	24.26	22.88	23.71		23.6
17	% de vacios llenados con C.A.	43.93	47.42	45.27		45.5
18	Peso especifico del agregado total	2.618	2.618	2.618		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0.31	0.31	0.31		
20	% de asfalto efectivo	5.21	5.21	5.21		
21	Flujo (mm)	4.06	4.06	4.06		4.1
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					226.0
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	578	514	600		
24	Factor de estabilidad	0.99	0.99	0.99		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	571	508	593		557
26	Indice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	1405	1250	1459		1371

OBSERVACIONES

LABORATORIO DE MECANICA
DE SUELOS Y PAVIMENTOS

Av oriente N° 772 Concepcion Telef.-581405 - Cel. Mov. 975151126 - *413854 - 964512425 - *165302 - 954431184 - claro 964328911

JAVIER SANTA CRUZ VELIZ
TEC. ESP. EN GEOTECNIA



José María Perreyra Aratijo
REG. COLEGIO D INGENIEROS N° 16800

Email CIAA_SANTACRUZ@hotmail.com

ELABORACION DE PROYECCION, EJECUCION DE OBRAS, CONTROL DE CALIDAD EN MECANICA DE SUELOS
ENSAYO DE MARSHALL ASTM D-1559
PORCENTAJES DE ASFALTO

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO REICLADO PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
UBICACION / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
Prov. HUANCAYO
Dpto. JUNIN
TECNICO : J SANTA CRUZ VELIZ
FECHA : 01/07/2019

ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfaltico en peso de la mezcla	6.00	6.00	6.00		6.00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34.78	34.78	34.78		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	58.28	58.28	58.28		
4	% de agregado caucho en peso de la mezcla	0.94	0.94	0.94		
5	Peso especifico del cemento asfaltico - aparente	1.017	1.017	1.017		
6	Peso especifico agregado grueso - bulk	2.674	2.674	2.674		
7	Peso especifico agregado fino - bulk	2.554	2.554	2.554		
8	Peso especifico PET - aparente	1.340	1.340	1.340		
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1175.00	1183.00	1176.80		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	625.00	630.00	625.00		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	550.00	553.00	551.80		
12	Peso especifico bulk de la briqueta	2.136	2.139	2.133		2.136
13	Peso especifico maximo ASTM D-2041	2.390	2.390	2.390		
14	% de vacios	10.6	10.5	10.8		10.6
15	Peso especifico bulk del agregado total	2.598	2.598	2.598		
16	VMA	22.70	22.59	22.83		22.7
17	% de vacios llenados con C.A.	53.24	53.56	52.84		53.2
18	Peso especifico del agregado total	2.615	2.615	2.615		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0.26	0.26	0.26		
20	% de asfalto efectivo	5.75	5.75	5.75		
21	Flujo (mm)	4.57	4.57	4.57		4.6
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	550	540	489		
24	Factor de estabilidad	1.01	1.01	1.01		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	557	547	495		533
26	Indice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	1219	1196	1083		1166

OBSERVACIONES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

JAVIER U. SANTA CRUZ VELIZ
ING. ESP. EN GEOTECNIA



Inga Marcela Araya Araujo
REG. COLEGIO INGENIEROS N° 16800

ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO
 PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
 UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN
 TECNICO : J SANTA CRUZ VELIZ
 FECHA : 01/07/2019

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfaltico en peso de la mezcla	6.50	6.50	6.50		6.50
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34.60	34.60	34.60		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	57.97	57.97	57.97		
4	% de agregado caucho en peso de la mezcla	0.94	0.94	0.94		
5	Peso especifico del cemento asfaltico - aparente	1.017	1.017	1.017		
6	Peso especifico agregado grueso - bulk	2.674	2.674	2.674		
7	Peso especifico agregado fino - bulk	2.554	2.554	2.554		
8	Peso especifico PET - aparente	1.340	1.340	1.340		
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1246.00	1180.00	1182.20		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	675.00	635.00	635.00		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	571.00	545.00	547.20		
12	Peso especifico bulk de la briqueta	2.182	2.165	2.160		2.169
13	Peso especifico maximo ASTM D-2041	2.370	2.370	2.370		
14	% de vacios	7.9	8.6	8.8		8.5
15	Peso especifico bulk del agregado total	2.598	2.598	2.598		
16	VMA	21.46	22.07	22.24		21.9
17	% de vacios llenados con C.A.	63.07	60.84	60.25		61.4
18	Peso especifico del agregado total	2.612	2.612	2.612		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0.21	0.21	0.21		
20	% de asfalto efectivo	6.31	6.31	6.31		
21	Flujo (mm)	4.83	4.83	4.83		4.8
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	407	480	430		
24	Factor de estabilidad	1.04	1.04	1.04		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	423	499	447		457
26	Indice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	877	1034	927		946

OBSERVACIONES

LABORATORIO DE MECANICA
DE SUELOS Y PAVIMENTOS

JAVIER J. SANTA CRUZ VELIZ



José Manuel Pereyra Araujo
INGENIERO CIVIL
REG. COLEGIO D INGENIEROS N° 16800

Av oriente N° 772 - Concepción Telef. - 581405 - Cel. Mov. 975151126 - *413854 - 964512425 - *165302 - 954431184 - claro 964328911

Email CIAA_SANTACRUZ@hotmail.com

ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO REICLADO PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
 UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN
 TECNICO : J SANTA CRUZ VELIZ
 FECHA : 01/07/2019

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfaltico en peso de la mezcla	7.00	7.00	7.00		7.00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34.41	34.41	34.41		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	57.66	57.66	57.66		
4	% de agregado caucho en peso de la mezcla	0.93	0.93	0.93		
5	Peso especifico del cemento asfaltico - aparente	1.017	1.017	1.017		
6	Peso especifico agregado grueso - bulk	2.674	2.674	2.674		
7	Peso especifico agregado fino - bulk	2.554	2.554	2.554		
8	Peso especifico PET - aparente	1.340	1.340	1.340		
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1174.60	1159.00	1180.80		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	625.00	620.00	635.00		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	549.60	539.00	545.80		
12	Peso especifico bulk de la briqueta	2.137	2.150	2.163		2.150
13	Peso especifico maximo ASTM D-2041	2.350	2.350	2.350		
14	% de vacios	9.1	8.5	7.9		8.5
15	Peso especifico bulk del agregado total	2.598	2.598	2.598		
16	VMA	23.49	23.02	22.55		23.0
17	% de vacios llenados con C.A.	61.45	63.08	64.79		63.1
18	Peso especifico del agregado total	2.607	2.607	2.607		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0.14	0.14	0.14		
20	% de asfalto efectivo	6.87	6.87	6.87		
21	Flujo (mm)	5.33	5.33	5.33		5.3
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	400	395	380		
24	Factor de estabilidad	1.04	1.04	1.04		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	416	411	395		407
26	Indice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	780	770	741		764

OBSERVACIONES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 JAVIER J. SANTA CRUZ VELIZ
 TECN. ESP EN GEOTECNIA

 José Manuel Rereyra Araujo
 CIVIL
 REG. COLEGIO D INGENIEROS N° 16800
 Av oriente N° 272 - Concepción - Tarma 28017 - Cel. Mov. 975151126 - *413854 - 964512425 - *165302 - 954431184 - claro 964328911
 Email CIAA_SANTACRUZ@hotmail.com

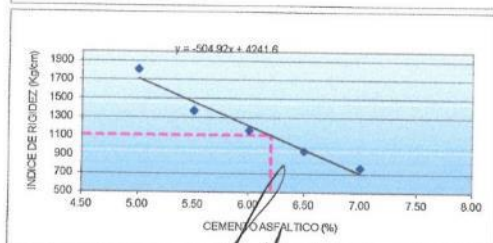
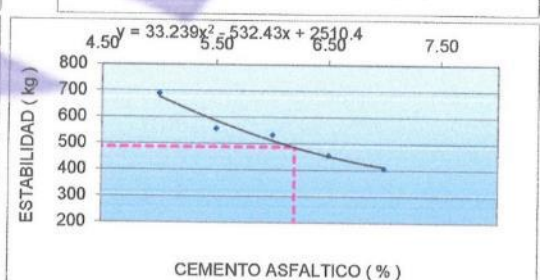
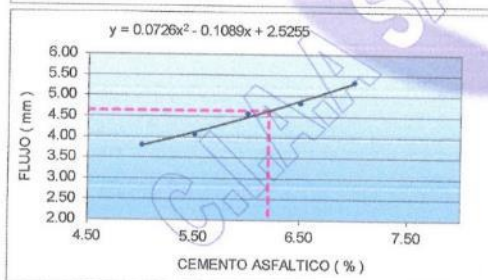
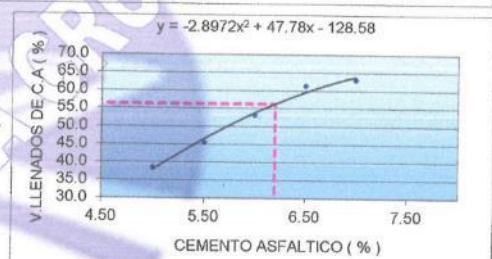
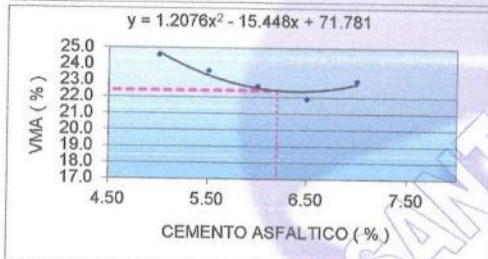
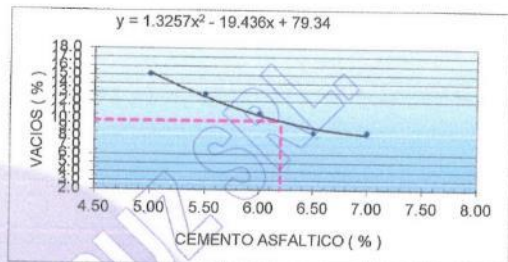
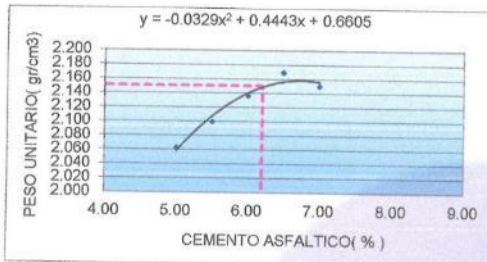
ELABORACION DE PROYECTOS - EJECUCION DE OBRAS - CONTROL DE CALIDAD EN MECANICA DE SUELOS
ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559) CAPA DE RODADURA

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILEN PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS

UBICACION / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN

DOSIFICACION AGREGADOS : PIEDRA CHANCADA 3/4" -
 ARENA CHANCADA
 PET

TECNICO : J. SANTA CRUZ V.
FECHA : 01/07/2019
 37% 3 DE DICIEMBRE
 60% 3 DE DICIEMBRE CEM. ASFALTICO : PEN - 85/100
 3%



RESULTADOS :

	ESPECIFIC.
OPTIMO CONTENIDO C.A (%)	0.2- 6.2+0.2
PESO UNITARIO (gr/cm3)	2.150
VACIOS (%)	9.8
V.M.A (%)	22.4
V. LLENADOS C.A (%)	56.3
FLUJO (mm)	4.6
ESTABILIDAD (kg)	487
INDICE DE RIGIDEZ (kg/cm)	1,111
	MIN
	3 - 5
	MIN 15
	2 - 3.5
	MIN 830
	1700 - 4000

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 JAVIER SANTA CRUZ VELIZ
 ING. ESP EN GEOTECNIA



José Manuel Pereyra Araujo
 INGENIERO CIVIL
 REG. COLEGIO D INGENIEROS N° 16900

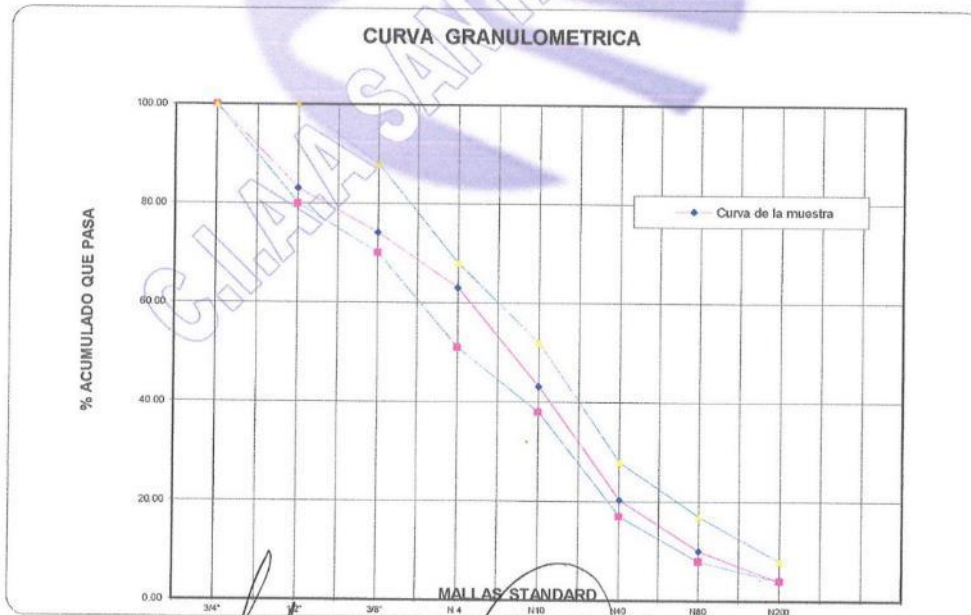
Av oriente N° 772-Concepcion Telef.-581405 - Cel. Mov. 975151126 - *413854 - 964512425 - *165302 - 954431184 - claro 964328911

Email CIAA_SANTACRUZ@hotmail.com

**ANEXO N° 03.05: Diseño de mezcla asfáltica en caliente con 5
% de PET según el método Marshall**

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO
 TRAMO : PARA LA CONSTRUCCION DE GARRETERAS ASFALTADAS
 UBICACIÓN / DE OBRA : **Dist.** HUANCAYO
Prov. HUANCAYO **TECNICO** : J. Santa Cruz Veliz
Dpto. JUNIN **FECHA** : 01/07/2019
DOSIFICACION AGREGADOS PIEDRA CHANCADA 3/4" -
 ARENA CHANCADA 1/4" -
 PET N°4 **CEM. ASFALTICO** : PEN - 85/100

N° MALLA	GRAVA CHANCADA	PET	ARENA ch	TOTAL	ESPECIFICACIONES MAC 2	
					LIM INF	LIM SUP
	37	5	58	100		
3/4"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	54.24	100.00	100.00	83.07	80.00	100.00
3/8"	30.16	100.00	100.00	74.16	70.00	88.00
N 4	0.00	100.00	100.00	63.00	51.00	68.00
N10	0.00	6.40	73.96	43.22	38.00	52.00
N40	0.00	0.05	35.05	20.33	17.00	28.00
N80	0.00	0.00	17.37	10.08	8.00	17.00
N200	0.00	0.00	6.80	3.95	4.00	8.00



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

JAVIER SANTA CRUZ VELIZ
 REG. ESP. EN GEOTECNIA



Javier Santa Cruz Veliz
 INGENIERO CIVIL
 REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16800

**ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO EN LA MUESTRA**

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECIKLADO
 PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
 UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN
 TECNICO : J SANTA CRUZ VELIZ
 FECHA : 01/07/2019

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfáltico en peso de la mezcla	5.00	5.00	5.00		5.00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	35.15	35.15	35.15		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	55.10	55.10	55.10		
4	% de agregado caucho en peso de la mezcla	4.75	4.75	4.75		
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1.018	1.018	1.018		
6	Peso específico agregado grueso - bulk	2.674	2.674	2.674		
7	Peso específico agregado fino - bulk	2.554	2.554	2.554		
8	Peso específico PET - aparente	1.340	1.340	1.340		
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1175.00	1119.60	1177.70		1,157
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	594.00	550.00	585.00		576
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	581.00	569.60	592.70		
12	Peso específico bulk de la briqueta	2.022	1.966	1.987		1.992
13	Peso específico máximo ASTM D-2041	2.430	2.430	2.430		
14	% de vacíos	16.8	19.1	18.2		18.0
15	Peso específico bulk del agregado total	2.600	2.600	2.600		
16	VMA	26.10	28.17	27.39		27.2
17	% de vacíos llenados con C.A	35.72	32.16	33.44		33.8
18	Peso específico del agregado total	2.621	2.621	2.621		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0.32	0.32	0.32		
20	% de asfalto efectivo	4.69	4.69	4.69		
21	Flujo (mm)	5.08	5.08	5.08		5.1
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					250.3
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	453	423	450		
24	Factor de estabilidad	1.04	1.04	1.04		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	471	440	468		460
26	Índice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	927	866	921		905

OBSERVACIONES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 JAVIER SANTA CRUZ VELIZ
 INGENIERO EN GEOTECNIA

José Manuel Persyra Araujo
 INGENIERO CIVIL
 REG. COLEGIO D'INGENIEROS N° 16800

ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO
 PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
 UBICACION / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN
 TECNICO : J SANTA CRUZ VELIZ
 FECHA : 01/07/2019

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfaltico en peso de la mezcla	5.50	5.50	5.50		5.50
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34.97	34.97	34.97		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	54.81	54.81	54.81		
4	% de agregado caucho en peso de la mezcla	0.95	0.95	0.95		
5	Peso especifico del cemento asfaltico - aparente	1.018	1.018	1.018		
6	Peso especifico agregado grueso - bulk	2.674	2.674	2.674		
7	Peso especifico agregado fino - bulk	2.554	2.554	2.554		
8	Peso especifico PET - aparente	1.340	1.340	1.340		
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1166.60	1172.00	1174.00		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	585.00	585.00	590.20		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	581.60	587.00	583.80		
12	Peso especifico bulk de la briqueta	2.006	1.997	2.011		2.004
13	Peso especifico maximo ASTM D-2041	2.410	2.410	2.410		
14	% de vacios	16.8	17.2	16.6		16.8
15	Peso especifico bulk del agregado total	2.600	2.600	2.600		
16	VMA	30.00	30.33	29.82		30.1
17	% de vacios llenados con C.A.	44.11	43.44	44.48		44.0
18	Peso especifico del agregado total	2.514	2.514	2.514		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	-1.34	-1.34	-1.34		
20	% de asfalto efectivo	6.72	6.72	6.72		
21	Flujo (mm)	5.59	5.59	5.59		5.6
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					226.0
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	402	385	406		
24	Factor de estabilidad	0.99	0.99	0.99		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	397	380	401		393
26	Indice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	711	681	718		703

OBSERVACIONES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y FUNDAMENTOS

JAVIER SANTA CRUZ VELIZ
 TECNICO EN GEOTECNIA
 José Manuel Pereyra Alvarado
 INGENIERO CIVIL
 REG. COLEGIO D INGENIEROS N° 16900
 Av oriente N° 772-Concepcion Telef. -581405 - Cel. Mov. 975151126 - *413854 - 964512425 - *165302 - 954431184 - claro 964328911
 Email CIAA_SANTACRUZ@hotmail.com

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO
 PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
 UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN

TECNICO : J SANTA CRUZ VELIZ
 FECHA : 01/07/2019

ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfáltico en peso de la mezcla	6.00	6.00	6.00		6.00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34.78	34.78	34.78		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	54.52	54.52	54.52		
4	% de agregado caucho en peso de la mezcla	4.70	4.70	4.70		
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1.017	1.017	1.017		
6	Peso específico agregado grueso - bulk	2.674	2.674	2.674		
7	Peso específico agregado fino - bulk	2.554	2.554	2.554		
8	Peso específico PET - aparente	1.340	1.340	1.340		
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1053.60	1154.80	1163.00		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	539.00	585.00	595.00		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	514.60	569.80	568.00		
12	Peso específico bulk de la briqueta	2.047	2.027	2.048		2.041
13	Peso específico máximo ASTM D-2041	2.390	2.390	2.390		
14	% de vacíos	14.3	15.2	14.3		14.6
15	Peso específico bulk del agregado total	2.600	2.600	2.600		
16	VMA	25.97	26.71	25.96		26.2
17	% de vacíos llenados con C.A	44.80	43.13	44.81		44.3
18	Peso específico del agregado total	2.615	2.615	2.615		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0.23	0.23	0.23		
20	% de asfalto efectivo	5.78	5.78	5.78		
21	Flujo (mm)	5.84	5.84	5.84		5.8
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	354	350	380		
24	Factor de estabilidad	1.01	1.01	1.01		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	359	355	385		366
26	Índice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	614	607	659		627

OBSERVACIONES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS



José Manuel Pereyra Araujo
 INGENIERO CIVIL
 REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16800

SANTA CRUZ VELIZ
 I.E.C. ESP EN GEOTECNIA
 Av oriente N° 772-Concepcion Telef. -581405 - Cel. Mov. 975151126 - *413854 - 964512425 - *165302 - 954431184 - claro 964328911
 Email CIAA_SANTACRUZ@hotmail.com

ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
 UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN
 TECNICO : J SANTA CRUZ VELIZ
 FECHA : 01/07/2019

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfaltico en peso de la mezcla	6.50	6.50	6.50		6.50
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34.60	34.60	34.60		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	54.23	54.23	54.23		
4	% de agregado caucho en peso de la mezcla	4.68	4.68	4.68		
5	Peso especifico del cemento asfaltico - aparente	1.017	1.017	1.017		
6	Peso especifico agregado grueso - bulk	2.674	2.674	2.674		
7	Peso especifico agregado fino - bulk	2.554	2.554	2.554		
8	Peso especifico PET - aparente	1.340	1.340	1.340		
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1172.60	1164.40	1185.20		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	612.60	608.00	620.00		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	560.00	556.40	565.20		
12	Peso especifico bulk de la briqueta	2.094	2.093	2.097		2.095
13	Peso especifico maximo ASTM D-2041	2.370	2.370	2.370		
14	% de vacios	11.6	11.7	11.5		11.6
15	Peso especifico bulk del agregado total	2.600	2.600	2.600		
16	VMA	24.69	24.73	24.58		24.7
17	% de vacios llenados con C.A.	52.82	52.70	53.13		52.9
18	Peso especifico del agregado total	2.612	2.612	2.612		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0.18	0.18	0.18		
20	% de asfalto efectivo	6.33	6.33	6.33		
21	Flujo (mm)	6.10	6.10	6.10		6.1
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	325	320	300		
24	Factor de estabilidad	1.04	1.04	1.04		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	338	333	312		328
26	Indice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	554	546	511		537

OBSERVACIONES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 JAVIER SANTA CRUZ VELIZ
 INGENIERO CIVIL
 REG. COLEGIO D INGENIEROS N° 16800
 Av oriente N° 772 - Concepción Telf: -581405 - Cel. Mov. 975151126 - *413854 - 964512425 - *165302 - 954431184 - claro 964328911
 Email CIAA_SANTACRUZ@hotmail.com

**ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO**

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO
 PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
 UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN
 TECNICO : J SANTA CRUZ VELIZ
 FECHA : 01/07/2019

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfáltico en peso de la mezcla	7.00	7.00	7.00		7.00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34.41	34.41	34.41		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	53.94	53.94	53.94		
4	% de agregado caucho en peso de la mezcla	4.65	4.65	4.65		
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1.017	1.017	1.017		
6	Peso específico agregado grueso - bulk	2.674	2.674	2.674		
7	Peso específico agregado fino - bulk	2.554	2.554	2.554		
8	Peso específico PET - aparente	1.340	1.340	1.340		
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1176.20	1170.30	1165.20		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	615.00	615.20	612.60		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	561.20	555.10	552.60		
12	Peso específico bulk de la briqueta	2.096	2.108	2.109		2.104
13	Peso específico máximo ASTM D-2041	2.350	2.350	2.350		
14	% de vacíos	10.8	10.3	10.3		10.5
15	Peso específico bulk del agregado total	2.600	2.600	2.600		
16	VMA	25.02	24.58	24.57		24.7
17	% de vacíos llenados con C.A.	56.78	58.15	58.19		57.7
18	Peso específico del agregado total	2.607	2.607	2.607		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0.11	0.11	0.11		
20	% de asfalto efectivo	6.89	6.89	6.89		
21	Flujo (mm)	6.35	6.35	6.35		6.4
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	235	285	300		
24	Factor de estabilidad	1.04	1.04	1.04		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	244	296	312		284
26	Índice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	385	467	491		448

OBSERVACIONES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS



José Manuel Pereyra Araujo
 CIVIL
 REG. COLEGIO INGENIEROS Nº 16900

Av. oriente N° 772 Concepción, Telef. 581405 - Cel. Mov. 975151126 - *413854 - 964512425 - *165302 - 954431184 - claro 964328911
 TEC. ESP EN GEOTECNIA

Email CIAA_SANTACRUZ@hotmail.com

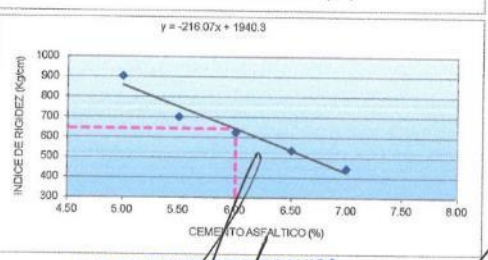
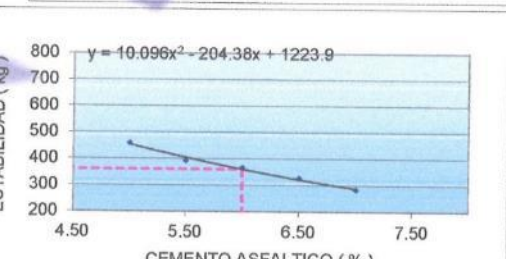
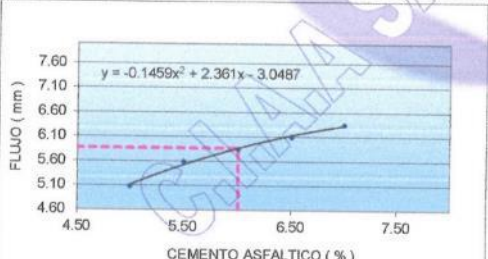
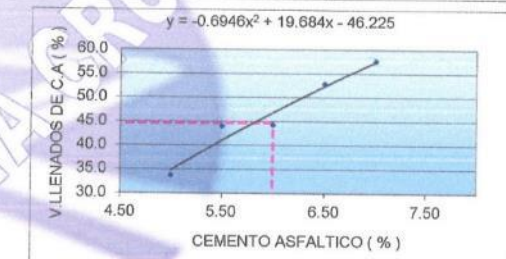
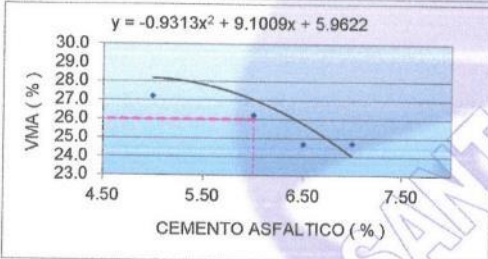
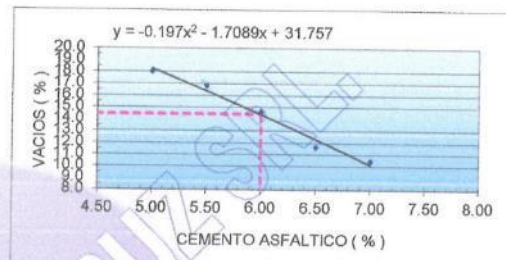
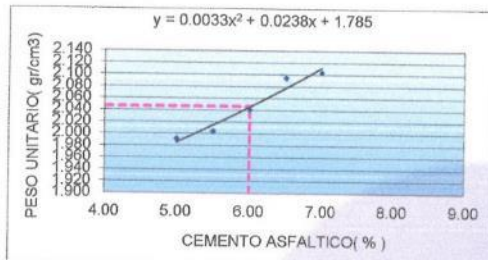
ELABORACION DE PROYECTOS - EJECUCION DE OBRAS - CONTROL DE CALIDAD EN MECANICA DE SUELOS
ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559) CAPA DE RODADURA

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILEN PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS

UBICACION / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN

DOSIFICACION AGREGADOS
 PIEDRA CHANCADA 3/4" -
 ARENA CHANCADA
 PET

TECNICO : J. SANTA CRUZ V.
FECHA : 01/07/2019
 37% 3 DE DICIEMBRE
 58% 3 DE DICIEMBRE CEM. ASFALTICO : PEN - 65/100
 5%



RESULTADOS :

	0.2- 6.0+0.2	ESPECIFIC.
OPTIMO CONTENIDO C.A (%)	0.2- 6.0+0.2	MIN
PESO UNITARIO (gr/cm3)	2.047	
VACIOS (%)	14.4	3- 5
V.M.A (%)	26.0	MIN 15
V. LLENADOS C.A (%)	44.7	
FLUJO (mm)	5.9	2 - 3.5
ESTABILIDAD (kg)	361	MIN 830
INDICE DE RIGIDEZ (kg/cm)	644	1700 - 4000

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

JAVIER... ELIZ...

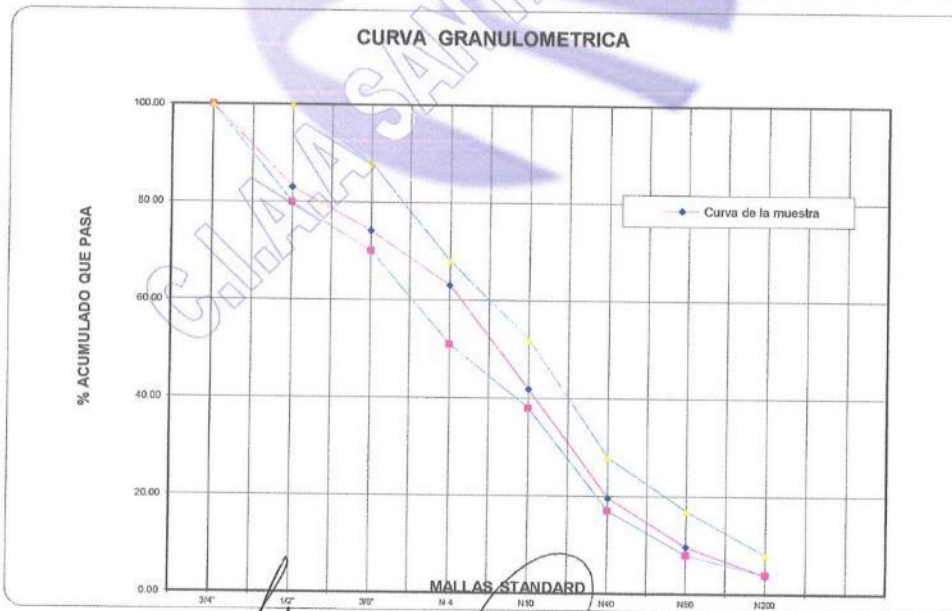


José Manuel Prieyra Araujo
 REG. COLEGIO D INGENIEROS N° 16800

**ANEXO N° 03.06: Diseño de mezcla asfáltica en caliente con 7
% de PET según el método Marshall**

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO
TRAMO : PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
UBICACIÓN / DE OBRA : *Dist.* HUANCAYO
Prov. HUANCAYO **TECNICO :** J. Santa Cruz Veliz
Dpto. JUNIN **FECHA :** 01/07/2019
DOSIFICACION AGREGADOS : PIEDRA CHANCADA 3/4"-
 ARENA CHANCADA 1/4"-
 PET N°4 **CEM. ASFALTICO :** PEN - 85/100

Nº MALLA	GRAVA CHANCADA	PET	ARENA ch	TOTAL	ESPECIFICACIONES MAC 2	
					LIM INF	LIM SUP
3/4"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	54.24	100.00	100.00	83.07	80.00	100.00
3/8"	30.16	100.00	100.00	74.16	70.00	88.00
N 4	0.00	100.00	100.00	63.00	51.00	68.00
N10	0.00	6.40	73.96	41.87	38.00	52.00
N40	0.00	0.05	35.05	19.63	17.00	28.00
N80	0.00	0.00	17.37	9.73	8.00	17.00
N200	0.00	0.00	6.80	3.81	4.00	8.00



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y FUNDAMENTOS

JAVIER J. SANTA CRUZ VELIZ
 TEG. ESP. EN GEOTECNIA



José Manuel Pereyra Araujo
 INGENIERO CIVIL
 REG. COLEGIO D INGENIEROS N° 16800

Av oriente N° 772- Concepcion Telef.-581405 - Cel. Mov. 975151126 - *413854 - 964512425 - *165302 - 954431184 - claro 964328911

Email CIAA_SANTACRUZ@hotmail.com

ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO EN LA MUESTRA

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO PARA LA CONSTRUCCION DE CARRITERAS ASFALTADAS
 UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN
 TECNICO : J SANTA CRUZ VELIZ
 FECHA : 01/07/2019

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfáltico en peso de la mezcla	5.00	5.00	5.00		5.00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	35.15	35.15	35.15		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	53.20	53.20	53.20		
4	% de agregado caucho en peso de la mezcla	6.65	6.65	6.65		
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1.018	1.018	1.018		
6	Peso específico agregado grueso - bulk	2.674	2.674	2.674		
7	Peso específico agregado fino - bulk	2.554	2.554	2.554		
8	Peso específico PET - aparente	1.340	1.340	1.340		
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1162.40	1147.80	1176.20		1,162
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	567.80	558.20	579.80		569
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	594.60	589.60	596.40		
12	Peso específico bulk de la briqueta	1.955	1.947	1.972		1,958
13	Peso específico máximo ASTM D-2041	2.430	2.430	2.430		
14	% de vacíos	19.6	19.9	18.8		19.4
15	Peso específico bulk del agregado total	2.601	2.601	2.601		
16	VMA	28.59	28.89	27.96		28.5
17	% de vacíos llenados con C.A.	31.61	31.16	32.61		31.8
18	Peso específico del agregado total	2.621	2.621	2.621		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0.31	0.31	0.31		
20	% de asfalto efectivo	4.71	4.71	4.71		
21	Flujo (mm)	5.33	5.08	5.33		5.2
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					250.3
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	474	358	425		
24	Factor de estabilidad	1.04	1.04	1.04		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	493	372	442		436
26	Índice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	924	733	829		829

OBSERVACIONES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

JAVIER L. SANTA CRUZ VELIZ
 TEC. ESP. EN GEOTECNIA

Av oriente N° 772-Concepcion Telef.-581405 - Cel. Mov. 975151126 - *413854 - 964512425 - *165302 - 954431184 - claro 964328911



José Mapo Pérez Araujo
 INGENIERO CIVIL
 REG. COLEGIO D INGENIEROS N° 16900

Email CIAA_SANTACRUZ@hotmail.com

ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO
 PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
 UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN
 TECNICO : J SANTA CRUZ VELIZ
 FECHA : 01/07/2019

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfaltico en peso de la mezcla	5.50	5.50	5.50		5.50
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34.97	34.97	34.97		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	52.92	52.92	52.92		
4	% de agregado caucho en peso de la mezcla	0.95	0.95	0.95		
5	Peso especifico del cemento asfaltico - aparente	1.018	1.018	1.018		
6	Peso especifico agregado grueso - bulk	2.674	2.674	2.674		
7	Peso especifico agregado fino - bulk	2.554	2.554	2.554		
8	Peso especifico PET - aparente	1.340	1.340	1.340		
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1169.40	1172.00	1162.60		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	576.00	583.20	580.30		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	593.40	586.80	582.30		
12	Peso especifico bulk de la briqueta	1.971	1.990	1.997		1.986
13	Peso especifico maximo ASTM D-2041	2.410	2.410	2.410		
14	% de vacios	18.2	17.4	17.2		17.6
15	Peso especifico bulk del agregado total	2.601	2.601	2.601		
16	VMA	32.69	32.01	31.80		32.2
17	% de vacios llenados con C.A.	44.23	45.62	46.06		45.3
18	Peso especifico del agregado total	2.461	2.461	2.461		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	-2.22	-2.22	-2.22		
20	% de asfalto efectivo	7.47	7.47	7.47		
21	Flujo (mm)	5.84	5.84	5.84		5.8
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					226.0
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	371	350	380		
24	Factor de estabilidad	0.99	0.99	0.99		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	367	346	375		363
26	Indice de rigidez: (10 ² * 25/21) (kg/cm.)	627	592	643		621

OBSERVACIONES

LABORATORIO DE MECANICA
DE SUELOS Y PAVIMENTOS



José Manuel Pereyra Araujo
INGENIERO CIVIL
REG. COLEGIO D INGENIEROS N° 16800

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
 UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN

TECNICO : J SANTA CRUZ VELIZ
 FECHA : 01/07/2019

ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfáltico en peso de la mezcla	6.00	6.00	6.00		6.00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34.78	34.78	34.78		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	52.64	52.64	52.64		
4	% de agregado caucho en peso de la mezcla	6.58	6.58	6.58		
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1.017	1.017	1.017		
6	Peso específico agregado grueso - bulk	2.674	2.674	2.674		
7	Peso específico agregado fino - bulk	2.554	2.554	2.554		
8	Peso específico PET - aparente	1.340	1.340	1.340		
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1176.40	1167.00	1173.10		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	590.10	578.40	584.20		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	586.30	588.60	588.90		
12	Peso específico bulk de la briqueta	2.006	1.983	1.992		1.994
13	Peso específico máximo ASTM D-2041	2.390	2.390	2.390		
14	% de vacíos	16.0	17.0	16.7		16.6
15	Peso específico bulk del agregado total	2.601	2.601	2.601		
16	VMA	27.48	28.34	28.00		27.9
17	% de vacíos llenados con C.A.	41.60	39.86	40.53		40.7
18	Peso específico del agregado total	2.615	2.615	2.615		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0.22	0.22	0.22		
20	% de asfalto efectivo	5.79	5.79	5.79		
21	Flujo (mm)	6.10	6.10	6.10		6.1
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	285	310	325		
24	Factor de estabilidad	1.01	1.01	1.01		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	289	314	329		311
26	Índice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	474	515	540		509

OBSERVACIONES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS



José Manuel Pereyra Araujo
 INGENIERO CIVIL
 REG. COLEGIO D INGENIEROS N° 16800

JAVIER J. SANCHEZ VELIZ
 ING. ESP. EN GEOTECNIA

Av oriente N° 772- Concepcion Telef. -581405 - Cel. Mov. 975151126 - *413854 - 964512425 - *165302 - 954431184 - claro 964328911

Email CIAA_SANTACRUZ@hotmail.com

ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLETILENO RECICLADO PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
 UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN
 TECNICO : J SANTA CRUZ VELIZ
 FECHA : 01/07/2019

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfaltico en peso de la mezcla	6.50	6.50	6.50		6.50
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34.60	34.60	34.60		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	52.36	52.36	52.36		
4	% de agregado caucho en peso de la mezcla	6.55	6.55	6.55		
5	Peso especifico del cemento asfaltico - aparente	1.017	1.017	1.017		
6	Peso especifico agregado grueso - bulk	2.674	2.674	2.674		
7	Peso especifico agregado fino - bulk	2.554	2.554	2.554		
8	Peso especifico PET - aparente	1.340	1.340	1.340		
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1178.20	1154.00	1156.60		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	595.00	580.00	580.00		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	583.20	574.00	576.60		
12	Peso especifico bulk de la briqueta	2.020	2.010	2.006		2.012
13	Peso especifico maximo ASTM D-2041	2.370	2.370	2.370		
14	% de vacios	14.8	15.2	15.4		15.1
15	Peso especifico bulk del agregado total	2.601	2.601	2.601		
16	VMA	27.37	27.72	27.88		27.7
17	% de vacios llenados con C.A.	46.08	45.27	44.90		45.4
18	Peso especifico del agregado total	2.612	2.612	2.612		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0.16	0.16	0.16		
20	% de asfalto efectivo	6.35	6.35	6.35		
21	Flujo (mm)	6.35	6.35	6.35		6.4
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	285	280	250		
24	Factor de estabilidad	1.04	1.04	1.04		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	296	291	260		283
26	Indice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	467	459	409		445

OBSERVACIONES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS



Jose Manuel Pereyra Araujo
 INGENIERO CIVIL
 REG. COLEGIO D'INGENIEROS N° 16800

**ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO**

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO
 PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
 UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN
 TECNICO : J SANTA CRUZ VELIZ
 FECHA : 01/07/2019

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfáltico en peso de la mezcla	7.00	7.00	7.00		7.00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34.41	34.41	34.41		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	52.08	52.08	52.08		
4	% de agregado caucho en peso de la mezcla	6.51	6.51	6.51		
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1.017	1.017	1.017		
6	Peso específico agregado grueso - bulk	2.674	2.674	2.674		
7	Peso específico agregado fino - bulk	2.554	2.554	2.554		
8	Peso específico PET - aparente	1.340	1.340	1.340		
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1182.20	1175.40	1171.20		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	599.00	591.40	593.40		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	583.20	584.00	577.80		
12	Peso específico bulk de la briqueta	2.027	2.013	2.027		2.022
13	Peso específico máximo ASTM D-2041	2.350	2.350	2.350		
14	% de vacíos	13.7	14.4	13.7		13.9
15	Peso específico bulk del agregado total	2.601	2.601	2.601		
16	VMA	27.51	28.03	27.51		27.7
17	% de vacíos llenados con C.A.	50.05	48.78	50.05		49.6
18	Peso específico del agregado total	2.607	2.607	2.607		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0.10	0.10	0.10		
20	% de asfalto efectivo	6.91	6.91	6.91		
21	Flujo (mm)	6.60	6.60	6.60		6.6
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	225	285	220		
24	Factor de estabilidad	1.04	1.04	1.04		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	234	296	229		253
26	Índice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	354	449	347		383

OBSERVACIONES

LABORATORIO DE MECANICA
DE SUELOS Y PAVIMENTOS



José Manuel Pereyra Araujo
INGENIERO CIVIL
REG. COLEGIO INGENIEROS N° 16800

Av oriente N° 772 - Concepción, Tarma - Perú - Cel. Mov. 975151126 - *413854 - 964512425 - *165302 - 954431184 - claro 964328911

Email CIAA_SANTACRUZ@hotmail.com

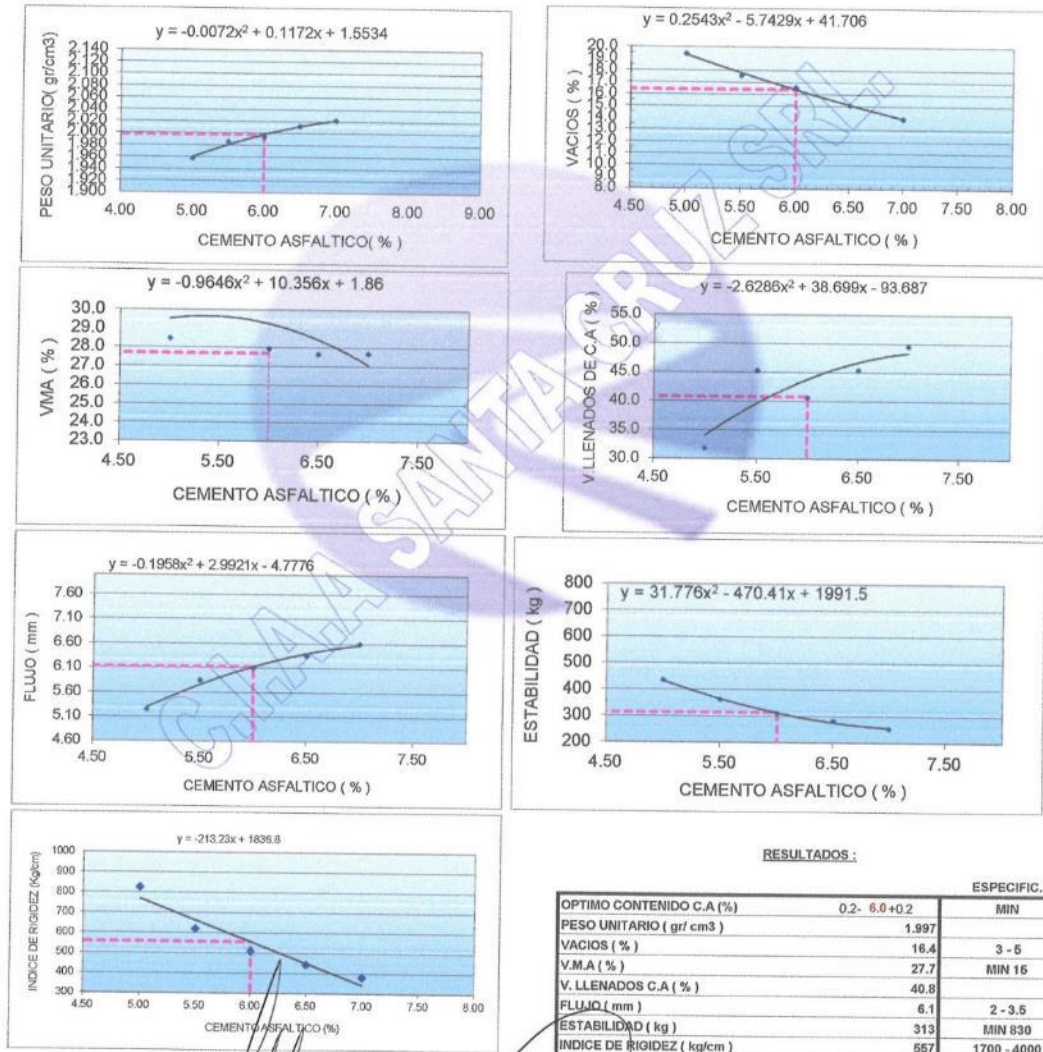
ELABORACION DE PROYECTOS - EJECUCION DE OBRAS - CONTROL DE CALIDAD EN MECANICA DE SUELOS
ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559) CAPA DE RODADURA

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. PUENTE GANZ JORGE
PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILEN PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS

UBICACION / DE OBRA : Dist. HUANCAYO
Prov. HUANCAYO
Dpto. JUNIN

DOSIFICACION AGREGADOS
PIEDRA CHANCADA 3/4" -
ARENA CHANCADA
PET

TECNICO : J. SANTA CRUZ V.
FECHA : 01/07/2019
37% 3 DE DICIEMBRE
56% 3 DE DICIEMBRE CEM. ASFALTICO : PEN - 85 /100
7%



RESULTADOS :

	ESPECIFIC.	MIN
OPTIMO CONTENIDO C.A (%)	0.2- 6.0+0.2	
PESO UNITARIO (gr/ cm ³)	1.997	
VACIOS (%)	16.4	3 - 5
V.M.A (%)	27.7	MIN 16
V. LLENADOS C.A (%)	40.8	
FLUJO (mm)	6.1	2 - 3.5
ESTABILIDAD (kg)	313	MIN 830
INDICE DE RIGIDEZ (kg/cm)	557	1700 - 4000

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
JAVIER VELIZ
REC. EN LA GEOTECNIA



José Mantu Páezra Arāju
ING. CIVIL
REG. COLEGIO INGENIEROS N° 16800

ANEXO N° 03.07: Ensayo de Cántabro

- Ensayo de Cántabro de mezcla asfáltica en caliente convencional.
- Ensayo de Cántabro de mezcla asfáltica en caliente con 1 % de PET.
- Ensayo de Cántabro de mezcla asfáltica en caliente con 3 % de PET.
- Ensayo de Cántabro de mezcla asfáltica en caliente con 5 % de PET.
- Ensayo de Cántabro de mezcla asfáltica en caliente con 7 % de PET.

ENSAYO CANTABRO

**Metodo Máquina de los Angeles
MTC E 515**

SOLICITA / PETICIONARIO: BACH. PUENTE GANZ JORGE
PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO
TRAMO : PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
CANTERA N° / UBICACIÓN : 1 TRES DE DICIEMBRE CHUPACA

MUESTRA M-01
UBICACIÓN DE OBRA : Distrito HUANCAYO
Provincia HUANCAYO **TECNICO :** J.Santa Cruz V.
Departamentc JUNIN **FECHA :** 28/07/2019

MARSHALL CONVENSIONAL

	5%	5.50%	6.00%	6.50%	7.00%			
PESO INICIAL	1183.2	1197.2	1189.8	1189.8	1180.8			
PESO FINAL	1058.2	1113	1098.8	1123.8	1111.4			
PERDINA	125	84.2	91	65.8	69.4			
DESGASTE	10.56457066	7.03307718	7.64834426	5.531271015	5.8773713			

OBSERVACIONES : MATERIAL NATURAL

LABORATORIO DE MECANICA
DE SUELOS Y PAVIMENTOS
JAVIER L. VELIZ
TECNICO EN GEOTECNIA



José Manuel Pereyra Araujo
INGENIERO CIVIL
REG. COLEGIO D INGENIEROS N° 16900

ENSAYO CANTABRO

**Metodo Máquina de los Angeles
MTC E 515**

SOLICITA / PETICIONARIO: BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFTALATO DE POLIETILENO REICLAD
 TRAMO : PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
 CANTERA N° / UBICACIÓN : 1 TRES DE DICIEMBRE CHUPACA

MUESTRA M-01
 UBICACIÓN DE OBRA : Distrito HUANCAYO
 Provincia HUANCAYO
 Departamentc JUNIN

TECNICO : J.Santa Cruz V.
 FECHA : 28/07/2019

MARSHALL AL. 1% DE PET

	5%	5.50%	6.00%	6.50%	7.00%
PESO INICIAL	1178.6	1180.4	1184.2	1185	1184.4
PESO FINAL	1098	1105	1127	1140	1146
PERDINA	80.6	75.4	57.2	45	38.4
DESGASTE	6.838622094	6.387665198	4.830265158	3.797468354	3.2421479

LABORATORIO DE MECANICA
 DE SUELOS Y FUNDAMENTOS
 SANTA CRUZ VELIZ
 TELEFONOS EN GEOTECNIA



José Manuel Pereyra Araujo
 INGENIERO CIVIL
 REG. COLEGIO INGENIEROS N° 16800

ENSAYO CANTABRO

**Metodo Máquina de los Angeles
MTC E 515**

SOLICITA / PETICIONARIO: BACH. PUENTE GANZ JORGE
PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECICL
TRAMO : PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
CANTERA N° / UBICACIÓN : 1 TRES DE DICIEMBRE CHUPACA

MUESTRA M-01
UBICACIÓN DE OBRA : Distrito HUANCAYO
 Provincia HUANCAYO **TECNICO :** J.Santa Cruz V.
 Departamento JUNIN **FECHA :** 28/07/2019

MARSHALL AL 3% DE PET

	5%	5.50%	6.00%	6.50%	7.00%			
PESO INICIAL	1181.6	1180	1182.2	1183.6	1174.6			
PESO FINAL	1051.4	1090.8	1119.4	1148	1141.8			
PERDINA	130.2	89.2	62.8	35.6	32.8			
DESGASTE	11.01895735	7.559322034	5.312129927	3.007772896	2.79244			

LABORATORIO DE MECANICA
DE SUELOS Y PAVIMENTOS

JAVIER J. SANTA CRUZ VELIZ
TEC. ESP. EN GEOTECNIA



José María Araya Araujo
INGENIERO CIVIL
REG. COLEGIO INGENIEROS N° 16800

ENSAYO CANTABRO

Metodo Máquina de los Angeles

MTC E 515

SOLICITA / PETICIONARIO: BACH. PUENTE GANZ JORGE
 PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO
 TRAMO : PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
 CANTERA N° / UBICACIÓN : 1 TRES DE DICIEMBRE CHUPACA

MUESTRA M-01
 UBICACIÓN DE OBRA : Distrito HUANCAYO
 Provincia HUANCAYO
 Departamentc JUNIN
 TECNICO : J.Santa Cruz V.
 FECHA : 28/07/2019

MARSHALL AL 5% DE PET

	5%	5.50%	6.00%	6.50%	7.00%
PESO INICIAL	1171	1183	1166	1188	1166
PESO FINAL	943	970	961	1010	1020
PERDINA	228	213	205	178	146
DESGASTE	19.470538	18.00507185	17.58147513	14.98316498	12.521441

LABORATORIO DE MECANICA
DE SUELOS Y FUNDAMENTOS

JAVIER I. SANTA CRUZ
TEC. EN GEOTECNIA



José Manuel Pereyra Araujo
INGENIERO CIVIL
REG. COLEGIADO INGENIEROS N° 16800

ENSAYO CANTABRO

**Metodo Máquina de los Angeles
MTC E 515**

SOLICITA / PETICIONARIO: BACH. PUENTE GANZ JORGE
PROYECTO / OBRA : ANALISIS TECNICO - ECONOMICO DE MEZCLAS ASFALTICAS CON TEREFALATO DE POLIETILENO RECIC
TRAMO : PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS ASFALTADAS
CANTERA N° / UBICACIÓN : 1 TRES DE DICIEMBRE CHUPACA

MUESTRA M-01
UBICACIÓN DE OBRA : Distrito HUANCAYO
 Provincia HUANCAYO TECNICO : J.Santa Cruz V.
 Departamento JUNIN FECHA : 28/07/2019

MARSHALL CON 7% DE PET

	5%	5.50%	6.00%	6.50%	7.00%			
PESO INICIAL	1172.2	1158.5	1182.3	1166.6	1177			
PESO FINAL	938	946.2	958	955	938.4			
PERDINA	234.2	212.3	224.3	211.6	238.6			
DESGASTE	19.97952568	18.3254208	18.97149624	18.13817932	20.271878			

LABORATORIO DE MECANICA
DE SUELOS Y PAVIMENTOS

JAVIER J. SANCHEZ MELIZ
TEC. ESP EN MECANICA



José Manuel Perceira Araujo
INGENIERO CIVIL
REG. COLEGIO D INGENIEROS N° 16800

ANEXO N° 04: CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**LF-039-2019**

Laboratorio de Fuerza

Pág. 1 de 2

Expediente**1818****Solicitante****CONSTRUCTORA INGENIEROS Y ARQUITECTOS
ASESORES SANTA CRUZ SOCIEDAD COMERCIAL
DE RESPONSABILIDAD LIMITADA****Dirección****AV. ORIENTE NRO. 772 (FRENTE A FABRICA DE
EMBUTIDOS HUAYCHULO) JUNÍN - CONCEPCION -
CONCEPCION****Instrumento de Medición****Máquinas para Ensayos Uniaxiales Estáticos
Máquinas de Ensayo de Tensión / Compresión****Equipo Calibrado****PRENSA MARSHALL(DIGITAL)****Marca (o Fabricante)****A&A INSTRUMENT****Modelo****STM-1****Número de Serie****130802****Identificación****NO INDICA****Procedencia****CHINO****Indicador de Lectura****INDICADOR DIGITAL****Alcance de Indicación****0 Kgf a 5000 Kgf****Resolución****0,1 Kgf****Marca (o Fabricante)****HIWEIGH****Modelo****NO INDICA****Número de Serie****NO INDICA****Identificación****Transductor de Fuerza****CELDA TIPO S****Marca (o Fabricante)****ZEMIC****Modelo****H3-C3-5.0T-6B****Número de Serie****5.0 T P2C 032509****Ubic. Del Equipo****INSTALACION DEL SOLICITANTE****Lugar de Calibración****INSTALACION DEL SOLICITANTE****Fecha de Calibración****2019-07-18****Sello****Fecha de emisión****2019-07-18****Jefe de Laboratorio de Calibración****Roberto Quintanilla**KAIZACORP S.A.C. - RUC: 20600820959
Jr. Pasco N° 3312 San Martín de Porres, Lima - Perú
Telf: (01) 397 8754 Cel.: 949 985.016 / 987.325.869E-mail: metrologia@kaizacorp.com
ventas@kaizacorp.com
Web: www.kaizacorp.com

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LF-039-2019

Laboratorio de Fuerza

Pág. 2 de 2

Método de Calibración

La calibración se realizó tomando como referencia el método descrito en la norma ISO 7500-1 / ISO 376, Verificación de Máquinas para Ensayos Uniaxiales Estáticos, Máquinas de Ensayo de Tensión / Compresión Verificación y Calibración del Sistema de Medición de Fuerza.

Trazabilidad

Se utilizó patrón calibrado con trazabilidad al SI, calibrado por la Pontificia Universidad Católica del Perú Con Certificado N° INF - LE 213-18

Resultados de medición

Lectura de la máquina (F)		Lectura del patrón			Promedio	Cálculo de errores		Incertidumbre
%	kgf	Primera	Segunda	Tercera		Exactitud	Repetibilidad	
		kgf	kgf	kgf	kgf	q(%)	b(%)	U(%)
10	500	505	505	505	505	2,8	0,0	0,2
20	1000	1005	1005	1005	1005	1,3	0,0	0,2
30	1500	1010	1010	1010	1010	0,8	0,0	0,2
40	2000	2010	2010	2010	2010	0,7	0,0	0,2
50	2500	2510	2510	2510	2510	0,9	0,0	0,2
60	3000	3010	3010	3010	3010	0,8	0,0	0,2
70	3500	35150	35150	35150	35150	0,6	0,0	0,2
80	4000	4020	4020	4020	4020	0,4	0,0	0,2
90	4500	4525	4525	4525	4525	0,5	0,0	0,2
100	5000	5030	5030	5030	5030	0,3	0,0	0,2
Lectura máquina en cero		0	0	0	—	0	0	Error máx. de cero(0)=0,00

Temperatura promedio durante los ensayos 20.8 °C; Varación de temperatura en cada ensayo < 2 °C.

Evaluación de los resultados

Los errores encontrados entre el 20% y el 100% del rango nominal considerado no superan los valores máximos permitidos establecidos en la norma ISO 7500-1.

Observaciones

Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de "CALIBRADO"
La incertidumbre de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estandar de la medición por el factor de cobertura k=2 para una distribución normal de aproximadamente 95 %.

Fin del documento



ANEXO N° 05: PANEL FOTOGRÁFICO



Fotografía 17. Planta trituradora de Tereftalato de Polietileno reciclado “S PLAST E.I.R.L”



Fotografía 18. Obtención de escamas de Tereftalato de Polietileno reciclado.



Fotografía 19. Producción de piedra chancada de 1/2" y arena chancada - Planta trituradora agregados Tres de Diciembre – Chupaca.



Fotografía 20. Piedra chancada de 1/2" (AG) - arena chancada (AF).



Fotografía 21. Cuarteo de muestra del agregado grueso y agregado fino para la granulometría.



Fotografía 22. Escamas de Tereftalato de Polietileno.



Fotografía 23. Dosificación de agregados y plástico PET en 1 %, 3 %, 5 % y 7 %.



Fotografía 24. Proceso de calentado de agregados, PEN 85/10 y moldes Marshall.



Fotografía 25. Mezclado del cemento asfáltico con los agregados y toma de temperatura.



Fotografía 26. Colocación y mezclado de escamas de PET como parcial de agregado fino.



Fotografía 27. Llenado de molde y compactación mecánica manual de las briquetas Marshall.



Fotografía 28. Proceso para desmoldar los especímenes con el extractor.



Fotografía 29. Espécimen de mezclas asfálticas incorporadas con PET 1 %, 3 %, 5 % y 7 %.



Fotografía 30. Especímenes de muestras asfálticas convencional y modificado con PET.



Fotografía 31. Peso específico de cada cuerpo de prueba, en agua temperada a 23 °C.



Fotografía 32. Baño María de briquetas Marshall a 60 °C



Fotografía 33. Rotura de briquetas en la presa Marshall, para terminar la estabilidad y deformación mediante el flujo.



Fotografía 34. Muestras ensayadas en la presa Marshall.



Fotografía 35. Máquina de abrasión los Ángeles.



Fotografía 36. Briquetas para el ensayo de Cántabro.



Fotografía 37. Peso inicial del espécimen.



Fotografía 38. Probeta en el bombo de la máquina de los Ángeles, se gira el tambor a (30 a 33 rpm), durante 300 vueltas.



Fotografía 39. Extracción del espécimen y peso final para verificar el desgaste.



Fotografía 40. Muestras ensayadas en la máquina de abrasión los Ángeles